

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Student: Igor Mejaš

Zagreb, 2013.

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Student: Igor Mejaš

Zagreb, 2013.

Fakultet strojarstva i brodogradnje
SREDIŠNJE POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE I DIPLOMSKE ISPITE

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad na temu "Regulacija hidrauličkog sustava u realnom vremenu pomoću industrijskog PLC-a" izradio samostalno, koristeći navedenu stručnu literaturu i znanje stečeno tijekom studija.

Igor Mejaš

ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Željku Šitumu na korisnim savjetima, prijedlozima, sugestijama i uputama koje su mi uvelike pomogle pri izradi mog diplomskog rada.

Zahvaljujem dr. sc. Danijelu Pavkoviću na korisnim savjetima i prijedlozima, te danoj tehničkoj literaturi koja mi je pomogla prilikom realizacije praktičnog dijela diplomskog rada.

Zahvaljujem ing. Zvonimiru Tumpiću na izradi naponskog pojačala, bez kojeg realizacija praktičnog dijela diplomskog rada ne bi bila moguća.

Posebno zahvaljujem obitelji na strpljenju i moralnoj podršci, te povjerenju koje su mi ukazali tokom mog studijskog obrazovanja.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **IGOR MEJAŠ**

Mat. br.: 0035167144

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **REGULACIJA HIDRAULIČKOG SUSTAVA U REALNOM VREMENU POMOĆU INDUSTRIJSKOG PLC-a**

Naslov rada na engleskom jeziku: **REAL-TIME CONTROL OF A HYDRAULIC SYSTEM USING INDUSTRIAL PLC**

Opis zadatka:

Razvoj elektroničkih komponenti snažno je utjecao na nove mogućnosti primjene i različite pristupe upravljanja hidrauličkih sustava. Važna karakteristika upravljačkog algoritma njegova je primjenljivost u standardnoj industrijskoj okolini. Budući da se hidraulički sustavi vrlo često primjenjuju u teškim radnim uvjetima, potrebno je imati upravljačke uređaje koji su robusni, brzi, pouzdani i prilagodljivi promjenljivim uvjetima rada. Programabilni logički kontroler (PLC) predstavlja klasični upravljački sustav u industriji zbog svoje modularne građe, mogućnosti programiranja, jednostavnog održavanja, otpornosti na nepovoljne utjecaje iz okoline i dr., što ga čini pogodnim za rješavanje različitih zadataka u automatizaciji procesa. Elektrohidraulički servo sustavi regulirani po brzini koriste se u automatizaciji brojnih industrijskih procesa zbog kompaktnosti konstrukcije, velike specifične snage, brzih odziva, visoke krutosti pogona i dobre upravljivosti. Time se povezuju mogućnosti ostvarenja velikih snaga hidrauličkim putem i jednostavna obrada i prijenos upravljačkih signala električnim komponentama.

U zadatku je potrebno:

- dati tehnički opis laboratorijskog sustava za regulaciju brzine vrtnje hidrauličkog motora kao objekta upravljanja,
- opisati način programiranja i korištenja industrijskog PLC-a SIMATIC S7-1200 proizvođača Siemens,
- izraditi program za regulaciju brzine vrtnje hidrauličkog motora pomoću PLC-a,
- izraditi grafičko sučelje za vizualizaciju i nadzor procesa,
- razvijene upravljačke algoritme ispitati na eksperimentalnom postavu.

Zadatak zadan:

19. rujna 2013.

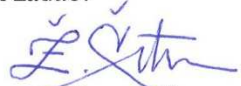
Rok predaje rada:

21. studenog 2013.

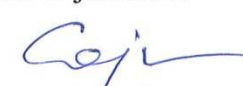
Predviđeni datum obrane:

27., 28. i 29. studenog 2013.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Željko Šitum

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

Popis slika	I
Popis tablica	III
Popis oznaka.....	IV
Sažetak	V
Summary	VI
1. UVOD.....	1
2. ELEKTROHIDRAULIČKI POSTAV.....	2
3. PLC UREĐAJ – Siemens SIMATIC S7-1200	13
3.1 Arhitektura Siemens SIMATIC S7-1200 PLC-a.....	13
3.2 Princip rada PLC-a	23
4. PROGRAMSKA PODRŠKA	24
4.1 Instalacija – Totally Integrated Automation Portal	24
4.2 Osnove – Totally Integrated Automation Portal.....	29
4.3 Struktura upravljačkog programa	31
4.4 Programska sintaksa i instrukcije	32
5. REGULACIJA BRZINE VRTNJE HIDROMOTORA.....	37
5.1 Povezivanje PLC uređaja sa elektrohidrauličkim laboratorijskim postavom.....	37
5.2 Izrada upravljačkog programa	41
5.2.1 Glavni program– Main [OB1].....	44
5.2.2 Potprogram – Cyclic interrupt [OB200]	47
5.2.3 Tablica simbola	56
5.2.4 PI regulator	56
5.3 HMI vizualizacija	61
5.4 Eksperimentalni rezultati	65
6. ZAKLJUČAK.....	67
7. DODATAK – Pregled upravljačkog programa	68
8. LITERATURA	71

Popis slika

Slika 2.1: Hidraulički motor/ senzor brzine vrtnje/ crpka za terećenje	2
Slika 2.2: Izgled cijelog laboratorijskog hidrauličkog postava	3
Slika 2.3: Shematski prikaz elektrohidrauličkog postava	4
Slika 2.4: Frekvencijski pretvarač – aktivni mod P702	5
Slika 2.5: Prikaz elektromotora i crpke za napajanje elektrohidrauličkog postava fluidom.....	6
Slika 2.6: Servoventil proizvođača Schneider (regulacija protoka fluida kroz hidromotor)	7
Slika 2.7: Tehnički crtež presjeka Schneider servoventila.....	8
Slika 2.8: Karakteristike protoka na servoventilu i ulaznog signala u postocima.....	8
Slika 2.9: Prikaz „Gerotor“ hidromotora.....	9
Slika 2.10: Radne karakteristike volumenske crpke	9
Slika 2.11: Prikaz rada inkrementalnog enkodera.....	10
Slika 2.12: Prikaz signala inkrementalnog enkodera	11
Slika 3.1: CPU 1214C modul SIMATIC S7-1200	13
Slika 3.2: Adresiranje memorijskih mjesta	15
Slika 3.3: Ulazno / izlazni sklopovi PLC-a	17
Slika 3.4: PROFINET komunikacija.....	19
Slika 3.5: SIMATIC HMI uređaji serije KTP	20
Slika 3.6: Spajanje dodatnih modula na CPU jedinicu	21
Slika 3.7: Signalna pločica	22
Slika 3.8: Programski ciklus PLC-a	23
Slika 4.1: Powered down status Windows XP moda	25
Slika 4.2: Odabir opcije Settings	26
Slika 4.3: Potrebna RAM memorija virtualnog računala	27
Slika 4.4: Postavljanje Ethernet komunikacije	27
Slika 4.5: Prikaz virtualnog operacijskog sustava sa TIA Portal programskim paketom	28
Slika 4.6: Simatic STEP 7 Basic	29
Slika 4.7: Simatic WinCC	30
Slika 4.8: Električna relejna shema	32
Slika 4.9: Kontaktni dijagram (LED)	33
Slika 4.10: Dijagram funkcijskih blokova (FBD)	34
Slika 5.1: Regulacijski krug kojim PLC uređaj mora upravljati	37
Slika 5.2: Redna stezaljka	38
Slika 5.3: Digitalno pojačalo	38
Slika 5.4: Prikaz laboratorijskog postava sa aktivnim upravljačkim komponentama.....	39
Slika 5.5: Blok shema povezivanja komponenti elektrohidrauličkog sustava i PLC uređaja..	40
Slika 5.6: Project view editor	41
Slika 5.7: Odabir neodređene sklopovske konfiguracije PLC uređaja.....	42
Slika 5.8: Automatska detekcija sklopovske konfiguracije PLC uređaja	42
Slika 5.9: Učitana sklopovska konfiguracija PLC uređaja.....	43
Slika 5.10: Padajući izbornik - Devices	43
Slika 5.11: OB1 – programska mreža 1	44

Slika 5.12: OB1 – programska mreža 2	45
Slika 5.13: OB1 – programska mreža 3	45
Slika 5.14: OB1 – programska mreža 4	46
Slika 5.15: Dodavanje novog programskog bloka (potprograma)	47
Slika 5.16: Kreiranje cikličkog prekida.....	48
Slika 5.17: OB200 – programska mreža 1	48
Slika 5.18: Pozivanje i parametriziranje željenog brzog brojača u sklopovskoj konfiguraciji PLC-a	53
Slika 5.19: OB200 – programska mreža 2	53
Slika 5.20: OB200 – programska mreža 3	54
Slika 5.21: OB200 – programska mreža 4	55
Slika 5.22: PI regulator s definiranim limitima.....	56
Slika 5.23: Kreiranje funkcijskog bloka.....	57
Slika 5.24: FB1 – programske mreže 1 i 2.....	58
Slika 5.25: FB1 – programska mreža 3	59
Slika 5.26: FB1 – programske mreže 4 i 5	59
Slika 5.27: FB1 – programska mreža 6	60
Slika 5.28: Odabir KTP panela	61
Slika 5.29: HMI Device Wizard.....	62
Slika 5.30: Povezivanje grafičkog elementa i upravljačkog programa.....	63
Slika 5.31: HMI vizualizacija regulacije brzine vrtnje hidromotora.....	64
Slika 5.32: Odziv brzine hidromotora na reference (400;700;350;600;300;650;300 okr/min)	65
Slika 5.33: Odziv brzine hidromotora na reference (400;700;365;600;300;640;0 okr/min) ...	66

Popis tablica

Tablica 3.1: Osnovni parametri CPU modula 1214C	14
Tablica 3.2: Memorijska područja, identifikatori i tipovi podataka.....	16
Tablica 4.1: Instrukcije za usporedbu	35
Tablica 5.1: Opis ulaznih i izlaznih parametara funkcijskog bloka brzoga brojača.....	49
Tablica 5.2: Tipovi brzih brojača - modovi brojanja impulsa s odgovarajućim digitalnim ulazima	50
Tablica 5.3: Podjela brzih brojača prema maksimalnoj frekvenciji rada	51
Tablica 5.4: Adrese sa kojih se čitaju vrijednosti brzih brojača.....	52
Tablica 5.5: Tablica simbola upravljačkog programa	56
Tablica 5.6: Tablica varijabli funkcijskog bloka PI regulatora	57
Tablica 5.7: Tablica simbola HMI vizualizacije	63

Popis oznaka

<u>OZNAKA</u>	<u>MJERNA JEDINICA</u>	<u>OPIS</u>
n	okr/min	Brzina vrtnje hidromotora
n_{REF}	okr/min	Referentna brzina
f	Hz	Frekvencija vrtnje hidromotora
N	-	Rezolucija inkrementalnog enkodera
err	okr/min	Regulacijsko odstupanje
w	-	Vrijednost izlaza PI regulatora
Q	m^3/s	Protok
p	Pa	Tlak
V	m^3	Volumen hidromotora
K_R	-	Pojačanje regulatora
K_P	-	Pojačanje proporcionalnog člana
K_I	-	Pojačanje integracijskog člana
T_I	s	Vremenska konstanta integracijskog člana
T	s	Vrijeme uzorkovanja
u_R	-	Regulacijsko djelovanje PI regulatora
u_P	-	Proporcionalno djelovanje PI regulatora
u_I	-	Integracijsko djelovanje PI regulatora
u_{I0}	-	Reset integracijsko djelovanje PI regulatora
u_{max}	-	Gornji limit regulacijskog djelovanja PI regulatora
$-u_{max}$	-	Donji limit regulacijskog djelovanja PI regulatora
s	-	Operator Laplaceove transformacije
z	-	Operator Z transformacije
e	-	Eulerov broj

Sažetak

U radu je obrađeno područje strojarske automatizacije, odnosno regulacija brzine vrtnje hidrauličkog motora primjenom PLC upravljačkog uređaja, te programska vizualizacija cijelog procesa regulacije.

Regulacijski sustav se sastoji od hidrauličkog motora - objekta regulacije, hidrauličkog servoventila – izvršnog člana u regulacijskom krugu, inkrementalnog enkodera – senzora brzine vrtnje u povratnoj petlji, Siemens SIMATIC S7-1200 PLC uređaja - industrijskog računala koji obrađuje ulazne podatke i kao regulator daje odgovarajući signal servoventilu, računala – pomoću kojeg se programira PLC uređaj i izrađuje i prikazuje vizualizacija procesa regulacije.

U današnje su vrijeme ovakvi sustavi u širokoj primjeni, jer objedinjuju hidrauličke komponente sa svojstvom generiranja velikih sila, sa elektroničkim uređajima za regulaciju koji omogućuju složene oblike regulacije te visoku brzinu rada i obrade signala.

U diplomskom je radu prikazan laboratorijski elektrohidraulički postav sa pregledom i opisom svih tehničkih komponenti. Opisana je arhitektura i princip rada Siemens SIMATIC S7-1200 PLC uređaja. Prikazana je *Totally Integrated Automation Portal* programska podrška koja omogućuje izradu upravljačkih aplikacija PLC-a. Opisan je detaljan tijek izrade upravljačkih programa i tijek izrade HMI nadzornih i upravljačkih aplikacija. U završnom dijelu rada dan je prikaz eksperimentalnih rezultata brzine vrtnje hidromotora.

Ključne riječi: Siemens PLC; hidromotor; servoventil; inkrementalni enkoder; regulacija brzine

Summary

The thesis elaborates the area of mechanical automation, which is the rotation speed control of a hydraulic engine by using PLC controlling device, as well as the software visualisation of the whole process of regulation.

The regulation system is composed of a hydraulic motor – control object; hydraulic servo valve – executive part in the control loop; incremental encoder –rotation speed sensor in the feedback path; Siemens SIMATIC S7-1200 PLC device – industrial computer that handles measuring data and also acts as a controller which sends adequate signals to the servo valve; computer - which computes the PLC device and also creates and displays the visual part of the process of regulation.

Such systems are widely used today, because they integrate hydraulic components with the capacity of generating large powers, with the electronic devices for the regulation, which enable complex types of regulation as well as high-speed performance and signal processing.

In the thesis a laboratory electro-hydraulic setup is presented, together with the overview and description of all its technical components. It describes the architecture and working principle of Siemens SIMATIC S7-1200 PLC device and presents the *Totally Integrated Automation Portal* software support, which enables the creation of the controlling application of the PLC device. Detailed workflow of managing programs, as well as the workflow of HMI monitoring and controlling applications, is described. The thesis is concluded with experimental results of the hydraulic engine's rotational speed control.

Keywords: Siemens PLC; hydraulic motor; servo valve; incremental encoder; speed control

1. UVOD

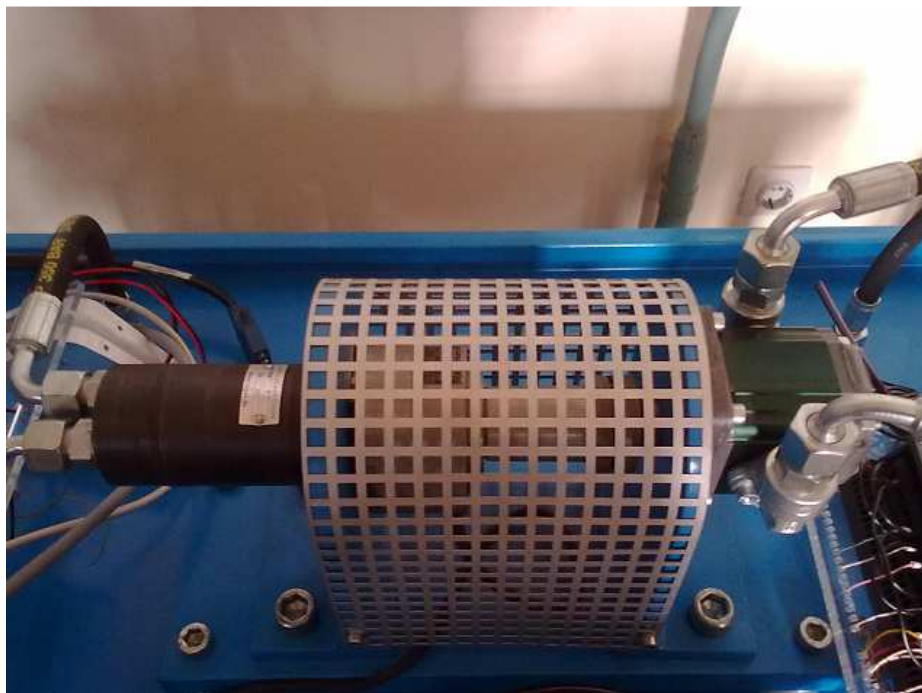
U današnje vrijeme teži se tomu da je proizvodnja u većem dijelu ili u potpunosti automatizirana, što je rezultat velikog napretka u posljednjim desetljećima na području elektronike, robotike, hidraulike, pneumatike i informatike. Ovo je omogućilo da proces industrijske proizvodnje dijelom ili u potpunosti preuzmu automatizirani sustavi, a čovjek vrši samo kontrolu i nadzor. Automatizirana industrija omogućuje bržu i kvalitetniju proizvodnju, sa smanjenim faktorom pogreške u odnosu na čovjeka. Bitan faktor u automatiziranoj industriji ima industrijsko računalo odnosno PLC uređaj (*Programmable Logic Controller*). PLC ili „Programabilni logički kontroler“ je krajem 60-ih godina 20. stoljeća zamišljen kao zamjena za relejnu (kontaktnu) tehniku. Danas je to univerzalna komponenta za industrijsku automatizaciju, odnosno predstavlja tip industrijskog računala za široku primjenu u području upravljanja i regulacije.

PLC se najviše koristi kao osnovni dio upravljačkih automatskih sustava u industriji. Njegov program, odnosno algoritam, se može jednostavno mijenjati te je pogodan za brza rješenja i aplikacije. Dio je mnogobrojnih strojeva i procesa u industriji. Projektiran je za teške uvjete rada, otporan na vibracije, temperaturne promjene i električne smetnje.

PLC uređaj je izumljen za potrebe američke automobilske i prerađivačke industrije 1968. godine. Prvi PLC uređaj je izrađen od strane „Bedford Associates“, udruge kojoj je to bio 84. projekt, a koja je nakon uspješne prezentacije prototipa osnovala tvrtku sa proizvodnjom, prodajom i servisom prvog modela PLC-a nazvanog „Modicon“.

U danom diplomskom radu opisan je laboratorijski elektrohidraulički postav hidromotora, kao i svi relevantni parametri PLC uređaja Siemens Simatic S7-1200, te način njegova korištenja, programiranja i vizualizacije sustava kojim upravlja.

2. ELEKTROHIDRAULIČKI POSTAV



Slika 2.1: Hidraulički motor/ senzor brzine vrtnje/ crpka za terećenje

Svrha ovog laboratorijskog hidrauličkog postava je uspostaviti regulaciju hidrauličkog sustava putem elektroničke upravljačke jedinice (PLC). Kako bi se razumjela regulacija i automatizacija, potrebno je objasniti međusobnu povezanost elemenata i njihovo djelovanje. Hidraulički motor u ovisnosti o protoku fluida predaje brzinu vrtnje na osovinu. U praksi, ta osovina može pokretati neki pogon ili alat, a da pritom bude važno zadržati konstantnu brzinu vrtnje bez obzira na opterećenje. To je ujedno i zadatak regulacije, a kao simulacija opterećenja služi crpka za terećenje sa druge strane osovine. Crpka mijenja svoj protok s obzirom na promjenu tlaka koju uzrokuje proporcionalni tlačni ventil iza nje. S druge strane, kako bi hidraulički motor zadržao konstantnu brzinu vrtnje, potrebno je mijenjati protok kroz njega, a to se čini servoventilom.

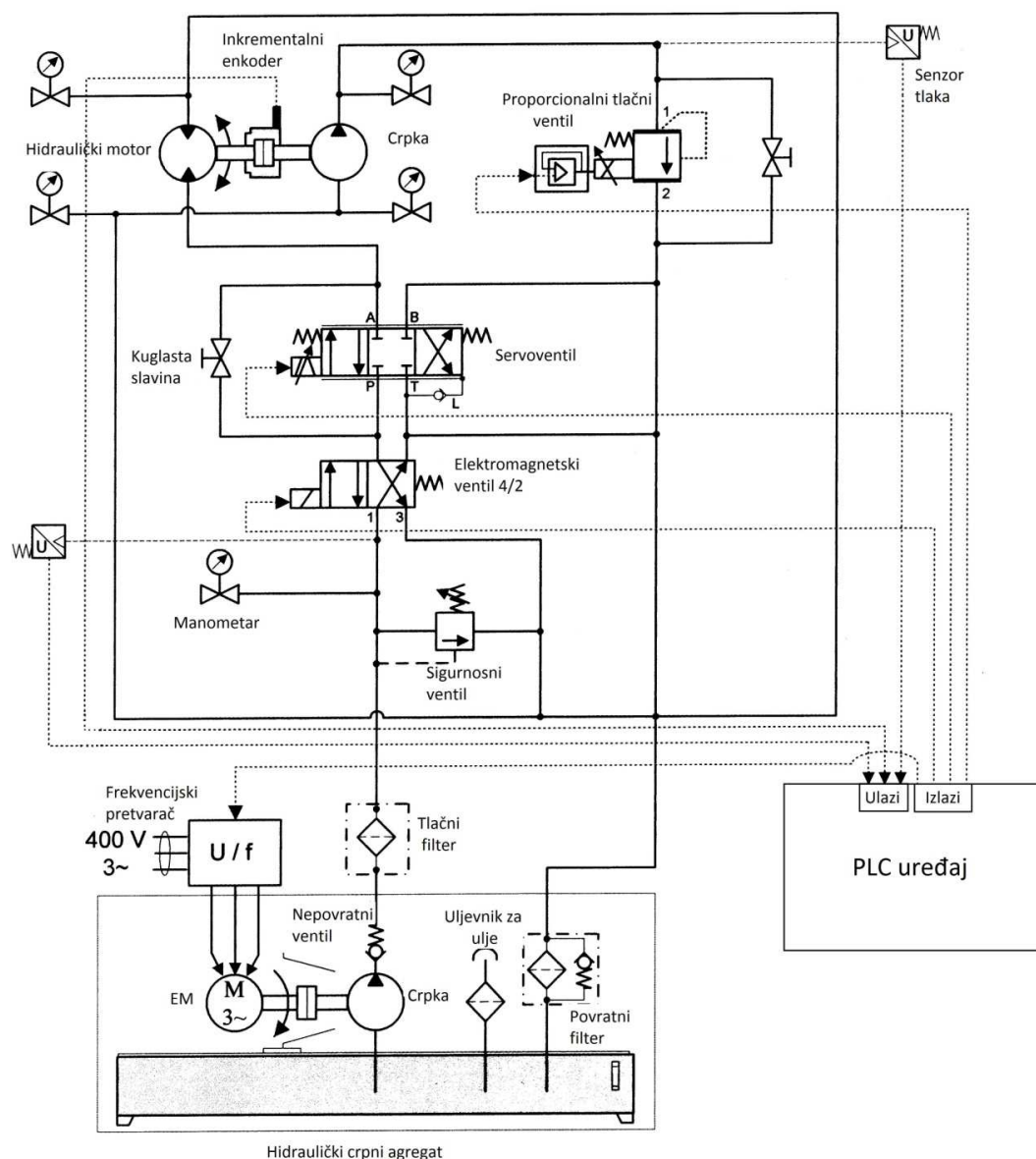
Senzor brzine je inkrementalni enkoder, dok se senzori tlaka koriste kako bi se dobio uvid u tlak napajanja (iza napojne crpke) i tlak opterećenja (iza crpke terećenja). Crpka napajanja daje konstantan protok, koji je određen brzinom vrtnje elektromotora stalnim taktom od 50Hz (takt daje frekvencijski pretvarač). Regulacija se provodi sa PLC uređajem Siemens Simatic S7-1200.

Laboratorijski elektrohidraulički postav prikazan na slikama (2.1), (2.2) i (2.3), na kojem se izvršava regulacija, sastoji se od sljedećih komponenata:

- Hidraulički crpni agregat
- Sigurnosni ventil
- Elektromagnetski ventil 4/2
- Servoventil
- Hidraulički motor
- Crpka za terećenje
- Proporcionalni tlačni ventil
- Senzori
- Ostalo (kuglaste slavine, manometri, cjevovodi, radni fluid)
- Siemens Simatic S7-1200 PLC uređaj



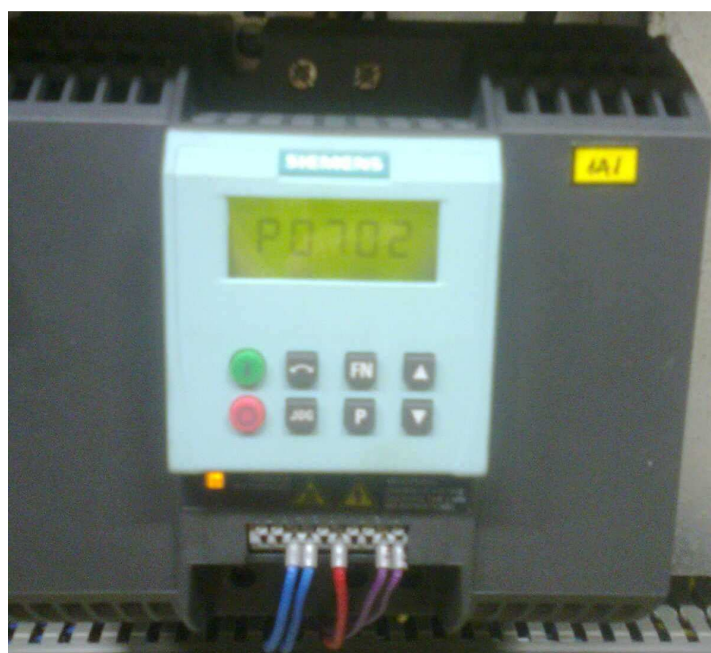
Slika 2.2: Izgled cijelog laboratorijskog hidrauličkog postava



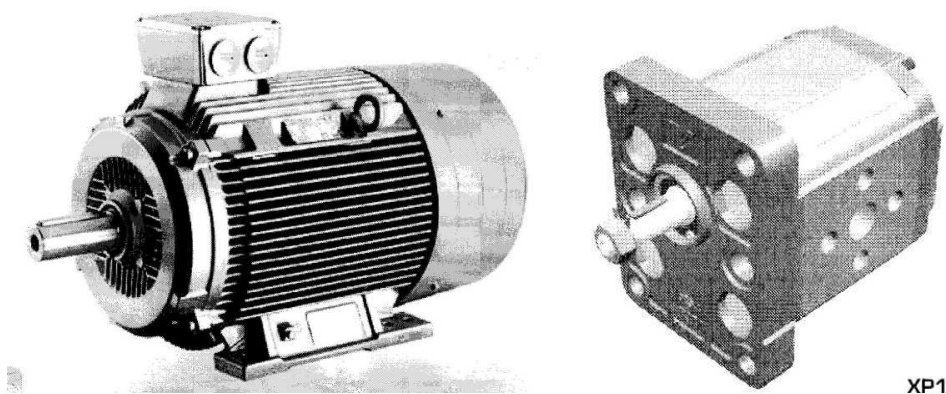
Slika 2.3: Shematski prikaz elektrohidrauličkog postava

Hidraulički crpni agregat sastoji se od spremnika fluida, crpke za napajanje, uljevnika za ulje, tlačnog filtera i povratnog filtera za pročišćavanje fluida. Agregati još mogu sadržavati i grijače / hladnjake fluida, sigurnosne ventile i mjerne uređaje. Spremnik fluida mora biti dovoljno velikog volumena da pokriva potrebe napajanja cijelog cjevovoda hidrauličkog postava, te mora zadovoljiti kriterije smirivanja fluida, slegnuća nečistoća, hlađenja radnog fluida (ili grijanja radi potrebne viskoznosti). Što je veća površina spremnika, to je brže hlađenje fluida. Ako to nije dovoljno ugrađuju se hladnjaci, uglavnom vođeni.

Crpki za napajanje se izvoda dovodi mehanička energija (rad elektromotora) te se ona transformira u energiju radnog fluida. Crpke se obično dijele u dvije osnovne kategorije: volumenske crpke (volumetričke) i dinamičke crpke (turbopumpe). Volumenske pumpe transportiraju fluid (ostvaruju povećanje tlaka i protoka) putem smanjenja volumena komora u pumpi, a koriste se za relativno male protoke uz relativno velike visine dobave. Crpka na laboratorijskom postavu je volumenska zupčasta, proizvođača VIVOIL i specifičnog volumena $2.6 \text{ cm}^3/\text{okr}$. Elektromotor je kavezni asinkroni, proizvođača Siemens, snage 2.2 kW. Takt rada elektromotora daje frekvencijski pretvarač, također proizvođača Siemens – slika (2.4). Frekvencijski pretvarač može raditi u mnogo „modova“ (programa), sa različitim oblicima frekvencije (npr. povećavanje frekvencije u vremenu po „rampi“). Budući da se regulacija odvija preko servoventila, treba nam konstantan protok na pumpi. Mod rada „P702 10“ daje konstantnu frekvenciju od 50Hz. Nakon odabira moda rada, dovoljan je jedan digitalni signal za držanje frekvencije (za razliku od promjenjive frekvencije kada treba dodatno 2 analogna signala za promjenu frekvencije). Elektromotor je povezan sa crpkom preko spojke.



Slika 2.4: Frekvencijski pretvarač – aktivni mod P702



Slika 2.5: Prikaz elektromotora i crpke za napajanje elektrohidrauličkog postava fluidom

Uljevnik za ulje služi za nadopunu razine radnog ulja u spremniku. Iza njega se nalazi i filter koji sprječava unos nečistoća prilikom nalijevanja novog ulja u spremnik. Općenito, zadatak filtera je da razinu nečistoća u ulju smanji na dozvoljenu vrijednost. Time se hidraulički elementi štite od prekomjernog habanja i povećava se pouzdanost rada hidrauličkog sustava i njegova trajnost. Vrijednost finoće filtriranja (apsolutna finoća filtriranja) odgovara promjeru najveće čestice u obliku kugle koja može proći kroz filter. Nečistoće se u sustavu mogu naći zbog trošenja, otkidanja čestica u elementima samog hidrauličkog sustava ili zbog lošeg brtvljenja (npr. kod cilindara). Posljedice krutih čestica u hidrauličkom ulju mogu uzrokovati istjecanje ulja kod brtvi, blokiranje kliznih elemenata, promjene karakteristika regulacijskih ventila i ukupno smanjiti njihov vijek trajanja. Kod laboratorijskog hidrauličkog sustava koristi se povratni filter, kako bi se pri svakom strujanju ulja ono pročistilo prije samog ulaska u spremnik. Tlačni filter se nalazi iza pumpe, i ispred servoventila budući da su servoventili iznimno osjetljivi na nečistoće i zahtijevaju visok indeks filtracije (pročišćenja ulja). U postavu je korišten tlačni filter tvrtke „Lifco hydraulics“.

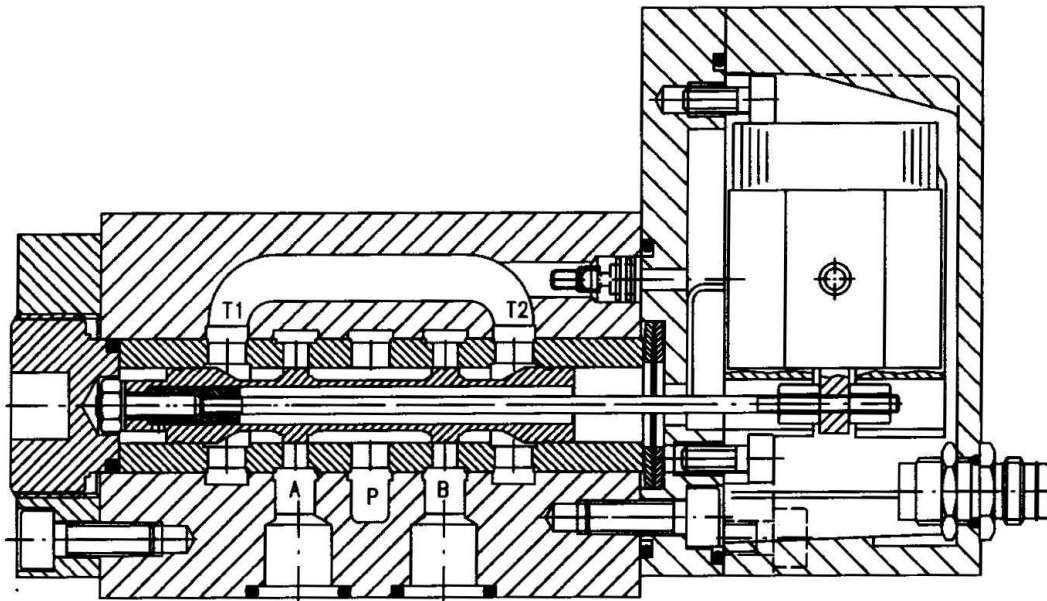
Sigurnosni ventil se nalazi ispred elektromagnetskog ventila 4/2 kao osiguranje da ne bi došlo do prevelikih iznosa tlaka koji bi mogli naštetiti sustavu, npr. prilikom naglog zaustavljanja radnog fluida u cjevovodima. Sigurnosni ventil koristan je i kao zaštita u slučaju da je elektromagnetski ventil aktiviran, a nema signala na servoventilu, i u tom bi slučaju tlak drastično narastao. Sigurnosni ventil je moguće podesiti na iznos tlaka kod kojeg će se on aktivirati, te u slučajevima tlaka u sustavu većeg od podešenog tlaka, radni se fluid preusmjerava nazad u spremnik.

Elektromagnetski ventil 4/2 ima četiri priključka i 2 položaja, kako sama oznaka i govori. Aktivira se putem digitalnog signala sa upravljačke jedinice, kada propušta ulje prema servoventilu, a u početni položaj se vraća nakon prestanka djelovanja signala putem sile opruge. U početnom položaju preusmjerava radni fluid nazad u spremnik. Ventil ugrađen u laboratorijski sustav je proizvođača Atos (Italija).

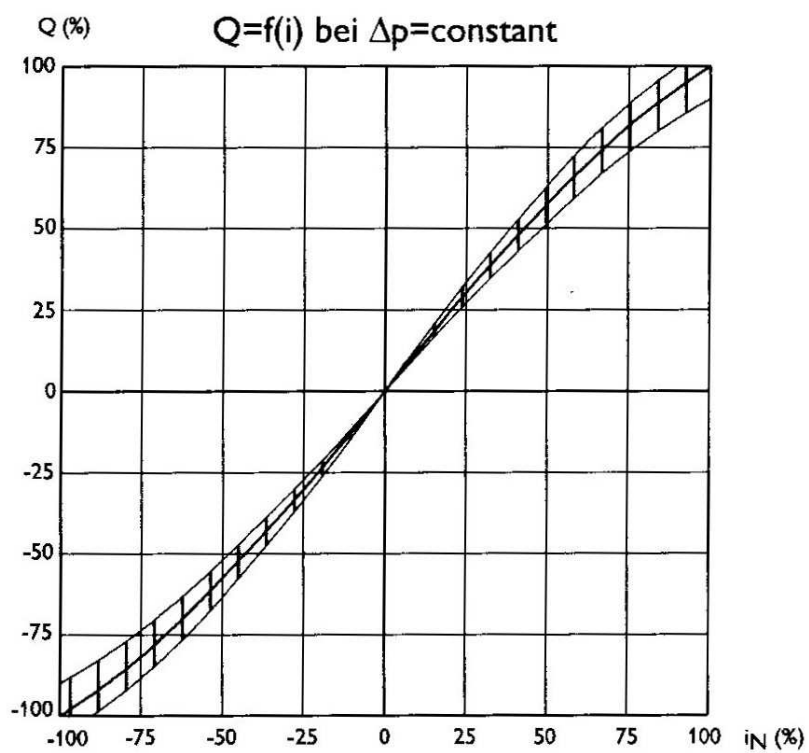
Servoventil, prikazan na slici (2.6), važan je element ovog hidrauličkog postava jer se preko njega regulira protok radnog fluida prema hidrauličkom motoru, tako mijenjajući brzinu vrtnje osovine motora. Protok se regulira analognim signalom napona iznosa od -10V do 10 V. Kada nema signala, ventil je zatvoren i nema protoka, dok za pozitivni napon otvara protok prema hidrauličkom motoru. Karakteristika između signala i protoka servoventila je nelinearna, kako se može vidjeti na slici (2.8). Proizvođač servoventila na hidrauličkom postavu je Schneider, a maksimalni protok koji se može ostvariti je 5 litara/min pri razlici tlakova od 70 bara. Razlika radnih tlakova je u rasponu od 10 do 315 bara. Na slici (2.7) prikazan je tehnički crtež servoventila iz kojeg se može proučiti način rada. Dakle, dok nema signala, klip stoji u neutralnom položaju zatvarajući priključke i tada nema protoka. Pomakom klipa u lijevu stranu, otvara se prolaz fluida između priključaka P i A, te priključaka B i T. Obrnuto, pomakom klipa u desnu stranu, radni fluid počinje teći između priključaka P i B, te A i T. Pomak klipa određuje elektromotor koji daje odgovarajući zakret navoja po kojem se zakret pretvara u linearni hod klipa.



Slika 2.6: Servoventil proizvođača Schneider (regulacija protoka fluida kroz hidromotor)

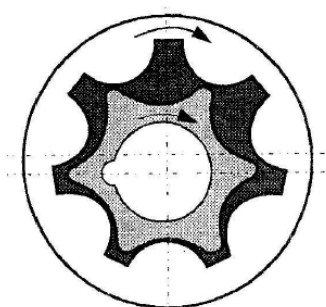


Slika 2.7: Tehnički crtež presjeka Schneider servoventila



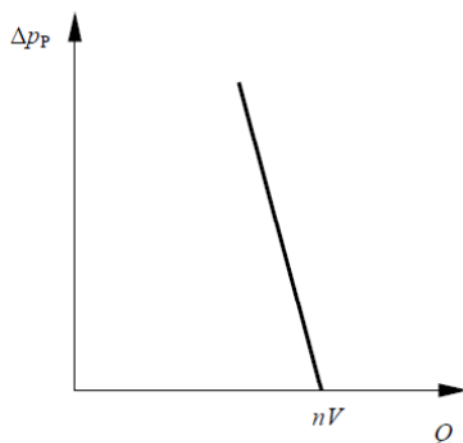
Slika 2.8: Karakteristike protoka na servoventilu i ulaznog signala u postocima

Hidraulički motor tvrtke „M+S Hydraulic“ koji se nalazi na postavu, je zupčasti, prstasti motor. Prstasti motori imaju poseban oblik zuba (trochoidna krivulja) koji osigurava istovremeno brtvljenje svih zuba. Unutrašnji zupčanik (rotora) uvijek ima jedan zub manje nego stator. Po izvedbi postoje dvije verzije, a motor korišten u ovom postavu je „Gerotor“ – slika (2.9). Gerotor motor ima ekscentrično postavljen unutrašnji zupčanik i puno manji volumen punjenja. Oba zupčanika rotiraju oko fiksnih, ekscentričnih osi. Predviđen je za veće brzine vrtnje, uz nešto manji radni moment. Specifični protok motora (eng. „motor displacement“) iznosi $8.2 \text{ cm}^3/\text{okr}$, a odnosi se na volumen koji je potreban da bi se osovina motora zakrenula za jedan puni okretaj.



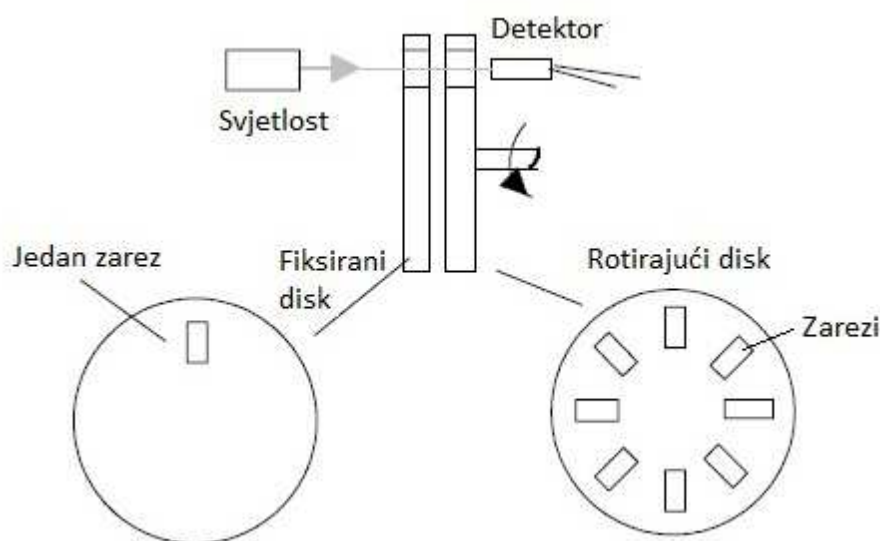
Slika 2.9: Prikaz „Gerotor“ hidromotora

Proporcionalni tlačni ventil koristi se za promjenu tlaka kako bi crpka za terećenje imala promjenjiv protok, a time bi se ostvario promjenjiv teret na strani hidrauličkog motora. Povećanjem tlaka, smanjuje se iznos protoka koji pumpa može ostvariti, što je vidljivo na slici (2.10). U postavu je ugrađen proporcionalni tlačni ventil tvrtke „Atos“. Na njega se dovodi analogni signal od 0 do 10 V koji odgovara promjeni tlaka od 6 do 210 bara. Karakteristika promjene tlaka je proporcionalna sa signalom.



Slika 2.10: Radne karakteristike volumenske crpke

Senzori koji se koriste u regulaciji su inkrementalni enkoder i senzori tlakova napajanja i terećenja. Senzori tlaka napajanja i opterećenja daju analogne naponske signale, dok inkrementalni enkoder daje digitalni signal. Jedini senzor u povratnoj grani regulacije brzine vrtnje je inkrementalni enkoder, stoga je bitno da mjerenje bude precizno sa što manjim pogreškama. Inkrementalni enkoder se sastoji od kružnog diska sa zarezima koji rotira zajedno sa osovinom čija se brzina vrtnje mjeri. Disk rotira između optičkih parova koji daju impulse kada svjetlost prođe kroz zarez diska.



Slika 2.11: Prikaz rada inkrementalnog enkodera

Brzina vrtnje inkrementalnog enkodera odnosno osovine koju pogoni hidromotor, računa se prema izrazu:

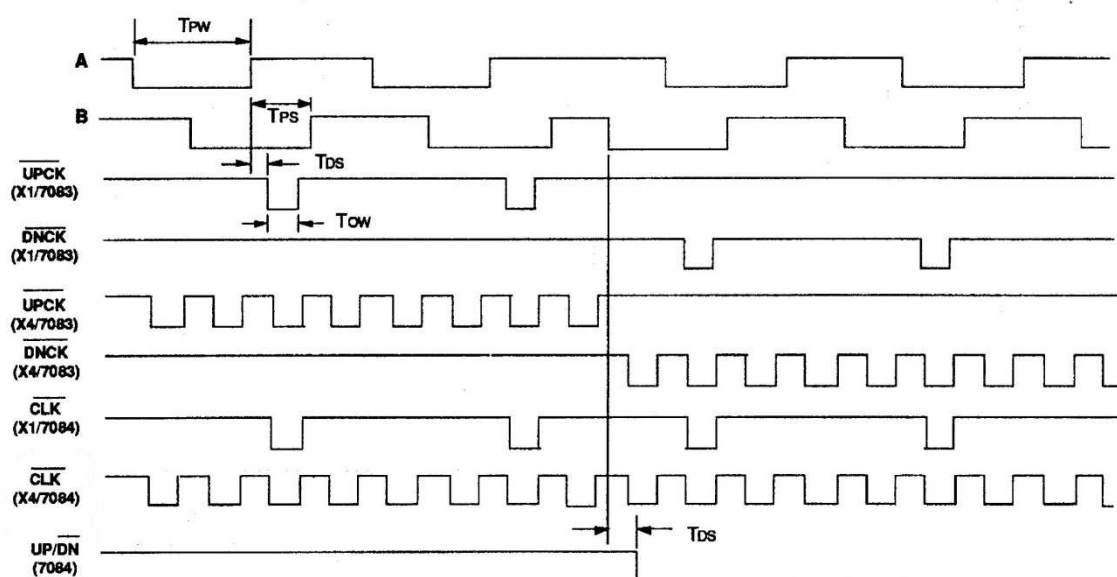
$$n = \frac{f}{N} \cdot 60 \quad \left[\frac{\text{okr}}{\text{min}} \right] \quad (2.1)$$

gdje je:

f - frekvencija vrtnje hidromotora [Hz]

N - rezolucija inkrementalnog enkodera

Rezolucija enkodera određuje koliko impulsa možemo dobiti po jednom okretaju diska, pa stoga povećava i preciznost mjerenja. Kod inkrementalnog enkodera koji koristimo na postavu postoje dva signala, to su signali A i B. Oni su međusobno pomaknuti na disku, tako da se usporedbom ta dva signala može odrediti smjer vrtnje. Budući da se u ovom slučaju inkrementalni enkoder koristi na hidrauličkom motoru, koji se zakreće uvijek u istom smjeru, odnos između dva impulsa signala A i B nam nije bitan. Iz ovog je razloga pri određivanju brzine vrtnje korišten samo A signal sa inkrementalnog enkodera. Brzina vrtnje izračunavati će se po jednadžbi (2.1) u programskom kodu PLC-a.



Slika 2.12: Prikaz signala inkrementalnog enkodera

Kuglaste slavine koriste se za pojedine „bypass“ spojeve hidrauličkih elemenata, budući da se laboratorijski postav može regulirati i drugim metodama, kao što je regulacija promjenom frekvencije na frekvencijskom pretvaraču. Tada nam servoventil nije potreban, pa ga preko kuglaste slavine možemo zaobići. Također, kuglastom slavinom možemo zaobići proporcionalni tlačni ventil, kako bi se isključilo opterećenje motora preko crpke.

Manometar je spojen u hidraulički krug, te kroz njega prolazi ulje iz sustava. On u sebi ima tzv. Bourdonovu cijev koja uslijed deformacije preko određenog mehaničkog prijenosnika okreće kazaljku pokazivača. Prednji dio manometra najčešće je ispunjen glicerinom koji eliminira titranje kazaljke. Iako imamo senzore tlakova u istim granama, sa strane regulacije korisni su za usporedbu točnosti mjerenja senzora tlaka (provjeru ispravnosti mjerenja prilikom regulacije).

Izbor odgovarajućeg radnog fluida ima bitan utjecaj na ispravno funkcioniranje, trajnost, pouzdanost i ekonomičnost hidrauličkog sustava. Izbor fluida utječe i na izbor hidrauličkih elemenata (filtri, ventili, brtve) koji se projektiraju za određenu vrstu fluida. Tako servoventil koji koristimo u ovom regulacijskom postavu određuje optimalne vrijednosti filtracije, viskoznosti i standarda fluida. Zbog servoventila su potrebne jako fine filtracije ulja (manje od klasa 4 i 5 po NAS 1638 normi, što odgovara česticama nečistoće veličine 2-3 μm), pa preko zahtjeva na filter utječemo na odabir fluida. Hidraulički motor ima pak drugačije zahtjeve na viskoznost fluida od servoventila, pa je optimalna viskoznost fluida za hidraulički motor za red veličine manji od onog koji propisuje servoventil. Iz toga možemo zaključiti da je odabir radnog fluida iznimno ovisan o hidrauličkim elementima koje koristimo.

Cjevovodi također utječu na cjelokupni hidraulički sustav, budući da se promjerom, oblikom cijevi određuje ponašanje fluida pri različitim brzinama strujanja, a tako i gubitci energije koja se pretvara u toplinsku energiju. Ta toplina zagrijava radni fluid i mijenja mu viskozitet, što može uzrokovati probleme kod brtvljenja i može promijeniti karakteristike hidrauličkih elemenata.

3. PLC UREĐAJ – Siemens SIMATIC S7-1200

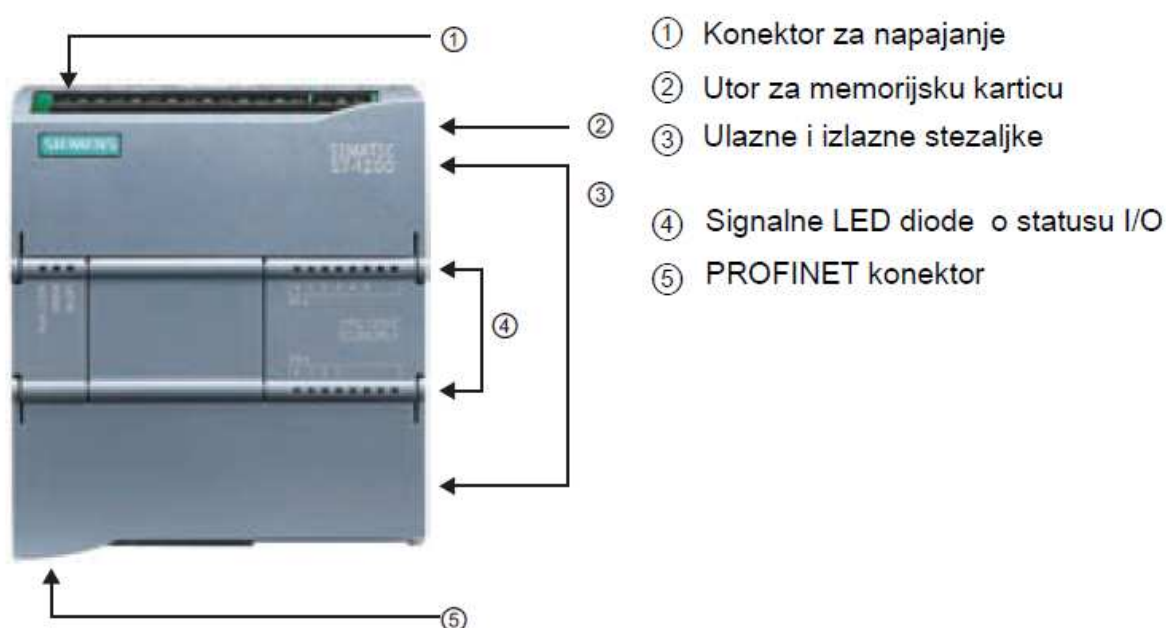
SIMATIC S7-1200 predstavlja seriju PLC uređaja koji se koriste za automatizaciju i upravljanje tehničkih sustava različite složenosti. SIMATIC S7-1200 najčešće se koristi za automatizaciju jednostavnih do srednje složenih sustava.

3.1 Arhitektura Siemens SIMATIC S7-1200 PLC-a

Arhitektura Siemens Simatic S7-1200 PLC-a sadrži sve elemente standardne arhitekture digitalnog računala koja uključuje:

- Centralnu procesorsku jedinicu (mikroprocesor)
- Sabirnice
- Memoriju
- Ulazno/izlazne sklopove (I/O)

Osnovu PLC uređaja SIMATIC S7-1200 čini CPU modul koji dolazi u jednoj od tri izvedbe (1211C, 1212C, 1214C) koje su različite po broju ulaza/izlaza, naponu napajanja i vrsti upravljačkog napona digitalnih izlaza. Na slici (3.1) prikazan je CPU 1214C modul SIMATIC S7-1200 PLC-a kojeg koristimo u diplomskom radu.



Slika 3.1: CPU 1214C modul SIMATIC S7-1200

CPU modul 1214C sastoji se od istosmjernog napajanja 24 V, mikroprocesora, memorije, ulaznih i izlaznih sklopova te od sabirnica koje sve povezuju navedene komponente. Na čeonj strani modula postavljene su LED diode za signalizaciju stanja ulaza odnosno izlaza. CPU modul posjeduje PROFINET konektor za komunikaciju sa računalom ili drugim modulom. U tablici (3.1) navedeni su osnovni parametri CPU modula 1214C.

Tablica 3.1: Osnovni parametri CPU modula 1214C

Dimenzije [mm]		110×100×75
Memorija za učitavanje		2 Mbytes
Radna memorija		50 Kbytes
Sistemska (retentivna) memorija		2 Kbytes
Digitalni ulazi/izlazi		14/10
Analogni ulazi/izlazi		2/0
Mogućnost ekspanzijskih modula	Signalni moduli	8
	Komunikacijski moduli	1
	Signal board	3
Brzina izvršenja realne instrukcije		18 μ s/instrukciji
Brzina izvršenja Boolean instrukcije		0.1 μ s/instrukciji

CPU jedinica čita stanje svih ulaza PLC-a, logički ih obrađuje u skladu s programom izrađenim od strane operatera, te upravlja izlazima ovisno o dobivenim rezultatima logičke obrade. Pod logičkim operacijama podrazumijeva se Boolean logika, aritmetika s cjelobrojnim i realnim tipovima podataka, brojila, vremenski sklopovi (timeri) te komunikacija s drugim uređajima. Posljedica procesorske snage CPU jedinice je dulje ili kraće vrijeme izvršenja zadanih instrukcija.

Memorija CPU-a se sastoji od memorije za učitavanje i radne memorije koje zajedno predstavljaju korisničku memoriju te sistemske memorije. U memoriji za učitavanje spremjeni su konfiguracijski parametri sklopovlja PLC-a i korisnički program. Memorija za učitavanje (*eng. Load memory*) je EEPROM memorija (*eng. electrically erasable programmable read only memory*) u koju se trajno spremaju podaci bez obzira na napon napajanja i ona može biti ugrađena u CPU modul ili smještena na SIMATIC memorijskoj kartici čime je omogućena razmjena i transport korisničkih programa. Programska logika i korisnički podaci koji su potrebni za izvođenje programa se iz memorije za učitavanje kopiraju u radnu memoriju (*eng. Work memory*) koja je izvedena kao brza RAM memorija (*eng. random access memory*) te je potpuno integrirana u CPU modul bez mogućnosti proširenja.

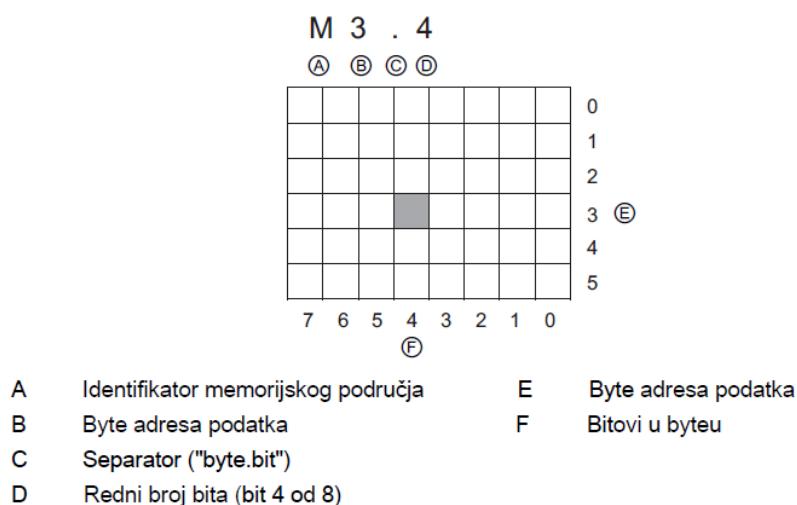
Ovim se osigurava brzo izvođenje korisničkog programa, jer se u radnoj memoriji nalaze samo podaci bitni za izvršavanje tog programa. Izvršni dio operativnog sustava osigurava izvođenje korisničkog programa iz radne memorije s varijablama smještenim unutar sistemske memorije. Prilikom nestanka napona napajanja brišu se svi podaci pohranjeni u radnoj memoriji. Sistemska memorija je također integrirana u CPU modul i ne može se proširivati, a sadrži elemente bitne za izvođenje programa koji su prema njihovoj primjeni grupirani na odgovarajuća memorijska područja, i moguće im je pristupiti u korisničkom programu. U sistenskoj memoriji nalaze se sljedeća memorijska područja s pridruženim identifikatorom:

- Procesna slika ulaza - I
- Procesna slika izlaza - Q
- Bit memorija - M
- Podatkovni blok - DB
- Lokalna (privremena) memorija - L

Memorijska područja mogu se opisati byte-ovno orijentiranom tablicom. Svi podaci u memorijskim područjima posjeduju vlastitu adresu pomoću koje im se pristupa. Ta adresa se sastoji od:

- Identifikatora memorijskog područja
- Veličine podatka kojemu pristupamo
- Početne byte adrese podatka

Na slici (3.2) prikazan je primjer za pristup Boolean vrijednosti iz bit memorije.



Slika 3.2: Adresiranje memorijskih mjesta

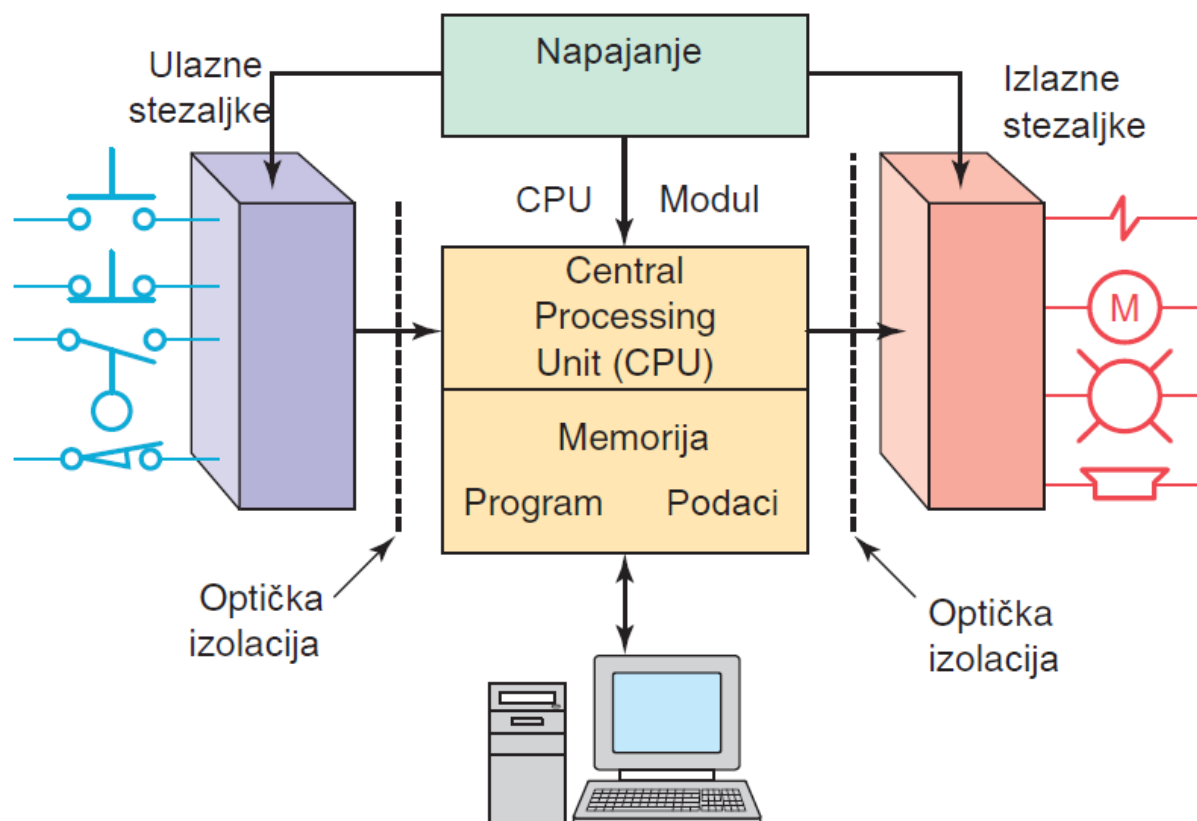
U tablici (3.2) prikazana su sva memorijska područja, njihovi identifikatori te tipovi podataka koji se koriste.

Tablica 3.2: Memorijska područja, identifikatori i tipovi podataka

Memorijsko područje	Tip (veličina) podatka	Identifikator
Procesna slika ulaza	Ulazni bit (Input BIT)	I
	Ulazni bajt (Input BYTE)	IB
	Ulazna riječ (Input Word)	IW
	Ulazna dvostruka riječ (Input DWORD)	ID
Procesna slika izlaza	Izlazni bit (Output BIT)	Q
	Izlazni bajt (Output BYTE)	QB
	Izlazna riječ (Output WORD)	QW
	Izlazna dvostruka riječ (Output DWORD)	QD
Bit memorija	Memorijski bit (Memory BIT)	M
	Memorijski bajt (Memory BYTE)	MB
	Memorijska riječ (Memory WORD)	MW
	Memorijska dvostruka riječ (Memory DWORD)	MD
Podatkovni blok	Bit (Data BIT)	DBX
	Bajt (Data BYTE)	DBB
	Riječ (Data WORD)	DBW
	Dvostruka riječ (Data DWORD)	DBD
Lokalna memorija	Lokalni bit (Local BIT)	L
	Lokalni bajt (Local BYTE)	LB
	Lokalna riječ (Local WORD)	LW
	Lokalna dvostruka riječ (Local DWORD)	LD

Kod pristupa podacima tipa BYTE, WORD i DWORD važno je obratiti pažnju gdje se nalazi byte najveće važnosti, a gdje byte najmanje važnosti. Byte najveće važnosti se uvijek nalazi na najnižoj adresi te on definira početnu byte adresu podatka. Na primjer, ako bi u memorijskom području željeli pristupiti podatku tipa WORD prvo je potrebno navesti identifikator memorijskog područja zatim duljinu podatka i na kraju početnu byte adresu podatka - MW4: Pristupamo podatku u bit memoriji koji je duljine riječi i počinje 4-im byteom.

Ulazno/izlazni (I/O) sklopovi su redne stezaljke koje povezuju PLC s okolinom. Na ulazne stezaljke se spajaju signali iz procesa čijim se radom upravlja (signali sa senzora sustava). Na izlazne stezaljke se spajaju izvršni uređaji (aktuatori) kojima PLC šalje signale odnosno naredbe, te na taj način upravlja procesom. Ulazni signali koje PLC prima mogu biti digitalni i analogni, dok su izlazni signali sa PLC-a digitalni – slika (3.3).



Slika 3.3: Ulazno / izlazni sklopovi PLC-a

Signali sa digitalnih ulaza i izlaza spremaju se kao 8-bitni podaci, a "1" i "0" prikazuju se:

- Naponskim razinama, kod istosmjernog napajanja senzora i aktuatora (24 VDC):
 - -30 V do 5 V predstavlja "0"
 - 13 V do 30 V predstavlja "1"
- Amplitudom napona, kod izmjeničnog napajanja senzora ili aktuatora (110/220 VAC):
 - 0 V do 40 V predstavlja "0"
 - 79 V do 260 V predstavlja "1"

Digitalne ulaze je potrebno prilagoditi tako da budu razumljivi procesorskoj jedinici. Prilagodba signala s ulaznog napona na naponski nivo logike procesorske jedinice uključuje optoizolaciju i filtriranje signala. Optoizolacija je vrlo bitna zbog galvanskog odvajanja strujnih krugova, a time se sprječava protok struje uslijed potencijalnih razlika strujnih krugova interne logike PLC-a i ulaznog kruga.

Filtriranjem signala smanjuju se visokofrekventne smetnje (visokofrekventni šumovi), odnosno smetnje uslijed statičkih pražnjenja. Izlazne su stezaljke također optoizolirane od procesorske jedinice radi galvanske izolacije električnih krugova. Digitalni izlazi su izvedeni kao relejni ili tranzistorski (MOSFET).

Navedeni CPU modul raspolaže i sa 2 analogna ulaza. Analogni ulazni signali su kontinuirani naponski ili strujni signali čiji raspon može varirati između nekoliko standardnih vrijednosti:

- Strujni 0-20 mA
- Naponski ± 10 VDC
- Naponski ± 5 VDC
- Naponski ± 2.5 VDC

Analogni ulazni signali se pretvaraju u digitalnu informaciju A/D pretvornikom, asinkrono s programskim ciklusom. Rezultat A/D pretvorbe sprema se kao 16-bitni podatak.

Signalni moduli kojima se proširuje CPU modul posjeduju više analognih izlaza. Na redne stezaljke analognih izlaza može se spojiti strujni signal za prikaz određene veličine na pokaznom instrumentu, referenca brzine za frekvencijski pretvarač, PID regulirana veličina, itd. Odgovarajuća vrijednost analognog izlaznog signala (naponski ili strujni) dobije se D/A pretvorbom 16-bitnog podatka.

Navedeni CPU modul raspolaže i integriranim PROFINET konektorom čime je omogućeno međusobno povezivanje više PLC uređaja, PLC uređaja i operatorskih panela i PLC uređaja i računala putem komunikacijskih protokola temeljenih na ethernet i TCP/IP (*eng. Transport Control Protocol/Internet Protocol*) – slika (3.4). Ovime je omogućeno spajanje PLC uređaja na postojeće sustave automatizacije.



Slika 3.4: PROFINET komunikacija

Za vođenje i nadgledavanje sustava automatizacije koriste se SCADA (*eng. Supervisory Control and Data Acquisition*) sustavi. SCADA informacije o samom sustavu automatizacije dobiva preko komunikacijske mreže. Vizualizacija i upravljanje postrojenjem od strane operatera u pogonu provodi se HMI uređajima. HMI (*eng. Human Machine Interface*), prikazan na slici (3.5), grafički i tekstualno prikazuje stanje procesa u realnom vremenu. Pomoću HMI uređaja operateri lako mogu pratiti trenutno stanje sustava automatizacije, ali i intervenirati upravljačkim naredbama.



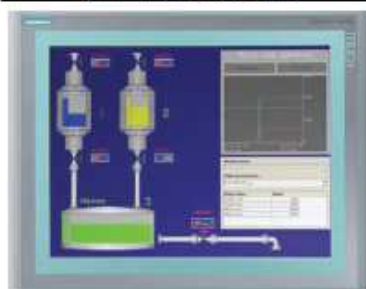
KTP 400 Basic PN



KTP 600 Basic PN



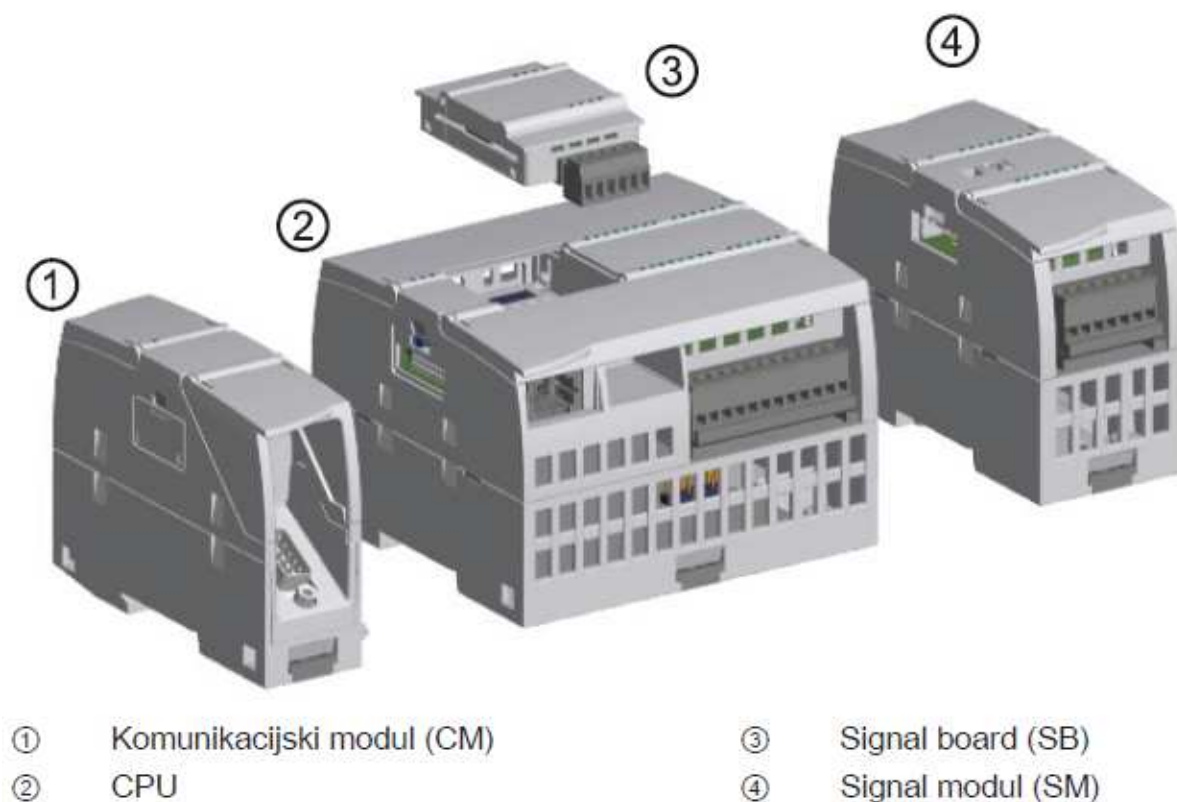
KTP 1000 Basic PN



TP 1500 Basic PN

Slika 3.5: SIMATIC HMI uređaji serije KTP

CPU modul se, prema potrebi, može proširiti signalnim i komunikacijskim modulima. Na slici (3.6) prikazan je izgled i spajanje dodatnih modula.



Slika 3.6: Spajanje dodatnih modula na CPU jedinicu

Komunikacijski modul (*eng. Communication Modules, CM*) koristi se za serijsku komunikaciju PLC-a i drugih uređaja, kao što su: GPS uređaji, modemi, infracrveni čitači, kamere, vizijski sustavi itd.. Za nadogradnju su na raspolaganju komunikacijski moduli koji podržavaju RS-232 i RS-485 komunikacijske protokole.

Signalni modul (*eng. Signal Modules, SM*) služi za povećanje broja ulaza odnosno izlaza ovisno prema potrebnom broju i vrsti. CPU modul moguće je proširiti digitalnim i analognim signalnim modulima koji posjeduju integrirane konektore pa dodatni kabeli ili konektori nisu potrebni.

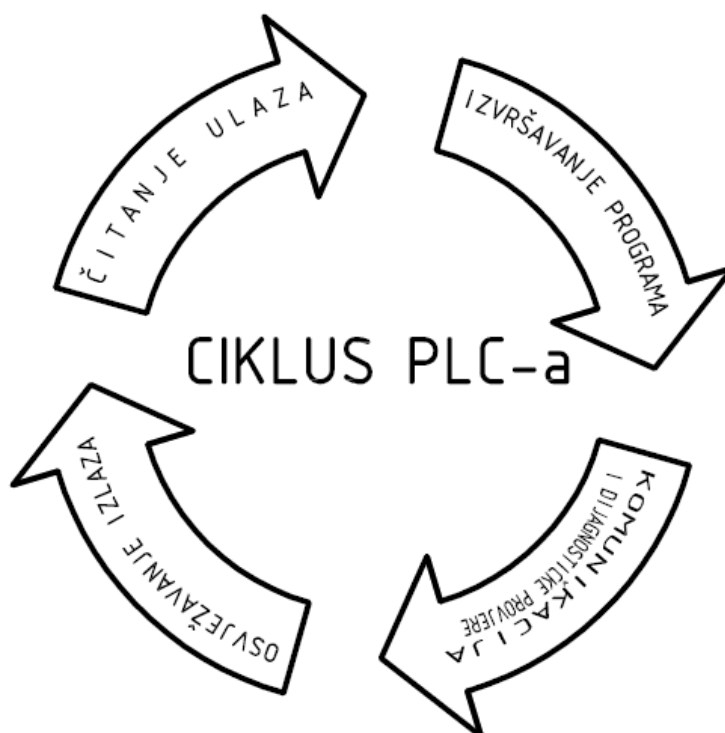
Ako nam je potrebno tek nekoliko dodatnih ulaza ili izlaza CPU modul s čelne strane posjeduje utor za signalnu pločicu s dodatnim ulazima/izlazima (eng. *Signal Board, SB*) – slika (3.7).



Slika 3.7: Signalna pločica

3.2 Princip rada PLC-a

PLC ciklički izvršava program u kojem se jedan puni ciklus sastoji od osvježavanja izlaznih stanja, čitanja ulaznih stanja, izvršavanja programa, osvježavanja internih varijabli, dijagnostičke provjere i procesiranja zahtjeva za komunikaciju.



Slika 3.8: Programski ciklus PLC-a

Procesna jedinica čita fizičke ulaze neposredno prije izvršavanja programa i sprema njihove vrijednosti u procesnu memoriju. Takav način rada osigurava konstantne podatke za vrijeme jednog ciklusa kako ne bi došlo do različitih interpretacija nad istom varijablom. Za vrijeme izvršavanja programa CPU obnavlja izlaze u procesnoj memoriji, a fizičke izlaze mijenja tek nakon izvršenja cijelog programa.

Dva su moda rada PLC uređaja, RUN i STOP. Procesorska jedinica će izvoditi korisnički program samo onda kada je u RUN modu, a u STOP modu obavljaju se isključivo naredbe operacijskog sustava. Ako se programski ciklus PLC ne izvrši u predviđenom vremenu odnosno nadzornom vremenu ciklusa, operacijski sustav zaustavlja izvođenje korisničkog programa i vraća PLC u STOP mod.

4. PROGRAMSKA PODRŠKA

4.1 Instalacija – Totally Integrated Automation Portal

Totally Integrated Automation Portal (*TIA Portal*) moguće je bez većih problema instalirati na klasični 32-bitni Windows XP operacijski sustav. S obzirom da se sve rjeđe kao operacijski sustav koristi Windows XP, te je u većini novih računala 64-bitna verzija Windowsa 7, moguće su poteškoće prilikom instalacije TIA Portal programskog paketa, jer on podržava instalaciju isključivo na 32-bitne operacijske sustave.

U odlomku koji slijedi biti će opisan postupak instalacije TIA Portal programskog paketa na 64-bitnu verziju Windowsa 7.

Prvi korak:

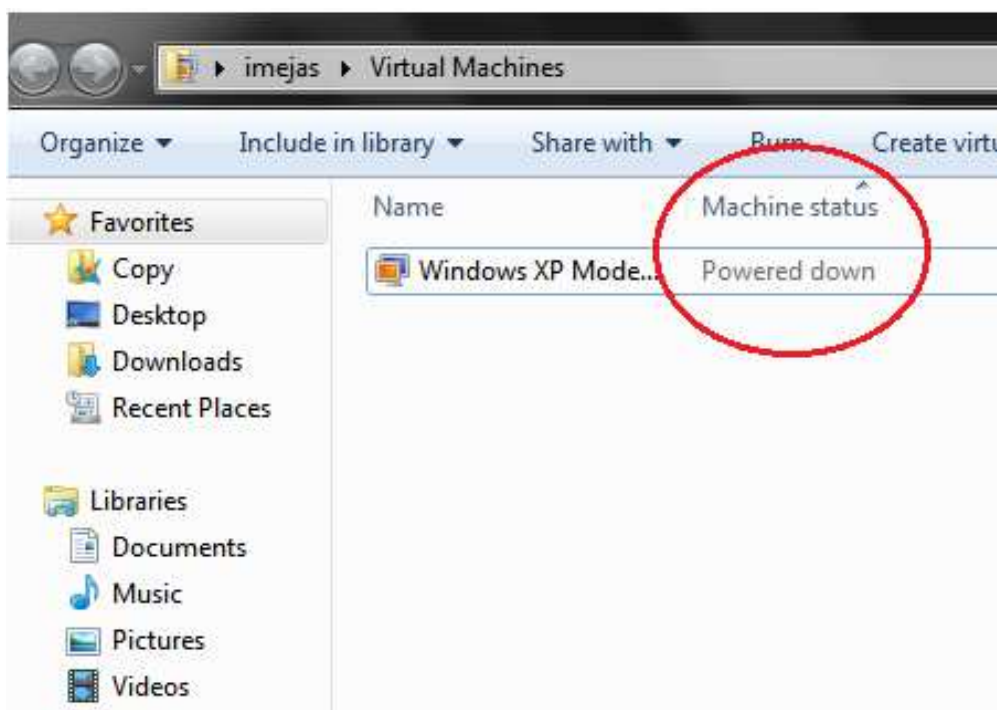
- Da bi se instalacija TIA Portal programskog paketa na 64-bitni operacijski sustav mogla provesti, potrebno je koristiti Windows 7 Professional, Enterprise ili Ultimate.
- Potrebno je provjeriti da li procesorska jedinica računala, na kojem se planira provesti instalacija, podržava hardverski potpomognutu vizualizaciju (*hardware-assisted virtualization*). Kako bi smo to provjerili, potrebno je instalirati program *Hardware-Assisted Virtualization Detection Tool*. Ovaj program nakon provjere može izbaciti tri tipa obavjesti:
 - *This computer is configured with hardware-assisted virtualization:*
Procesorska jedinica podržava hardverski potpomognutu vizualizaciju.
 - *There is no hardware-assisted virtualization support in the system:*
Procesorska jedinica ne podržava hardverski potpomognutu vizualizaciju te na to računalo nije moguće instalirati TIA Portal.
 - *Hardware-assisted virtualization is disabled:*
Procesorska jedinica podržava hardverski potpomognutu vizualizaciju i potrebno ju je uključiti u BIOS-u računala.

Drugi korak:

- Za samu instalaciju TIA Portal programskog paketa potrebno je stvoriti virtualno računalo (virtualnu mašinu) i na njega instalirati virtualni 32-bitni operacijski sustav.
- Za stvaranje potrebne virtualne konfiguracije potrebno je instalirati programe *Windows XP Mode* i *Windows Virtual PC*.

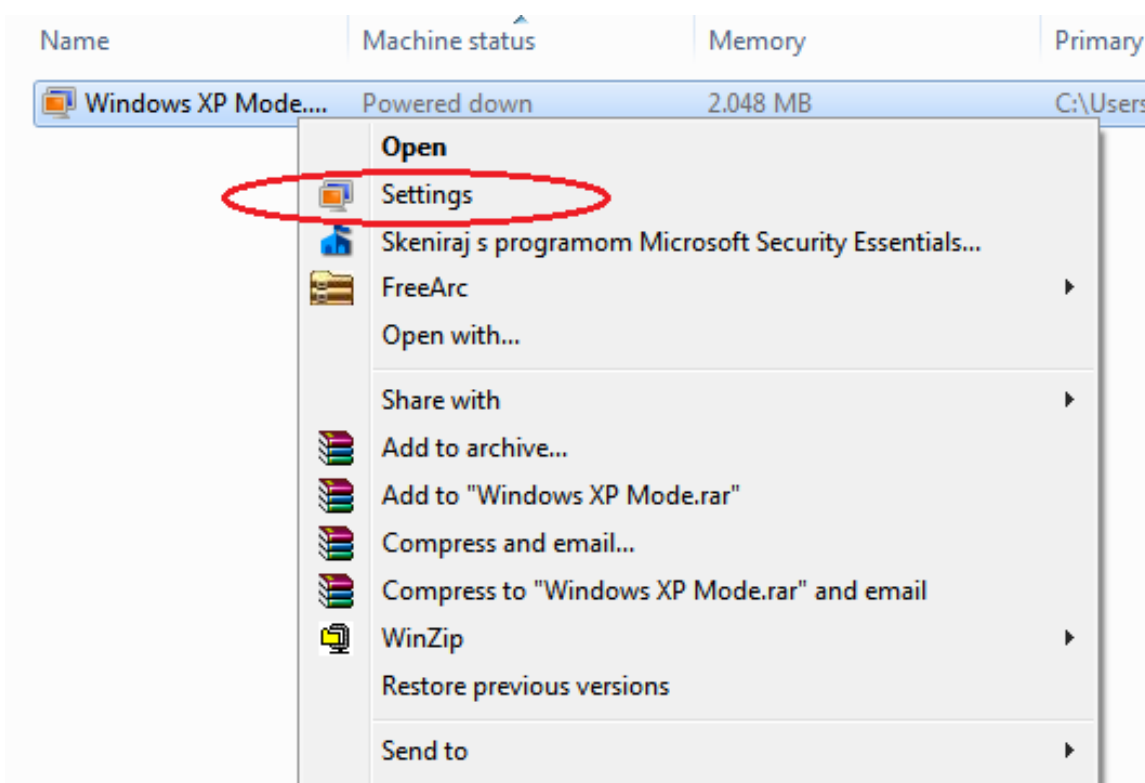
Treći korak:

- Potrebno je podesiti parametre virtualnog računala da bi nakon instalacije TIA Portal programski paket mogao pravilno raditi.
- Za promjenu parametara potrebno je otvoriti direktorij *Virtual Machines* u kojem se nalazi start up ikona *Windows XP Mode*.
- Parametri virtualnog računala se mogu mijenjati samo kada je Windows XP mode ugašen (*Machine status = Powered down*) – slika (4.1).



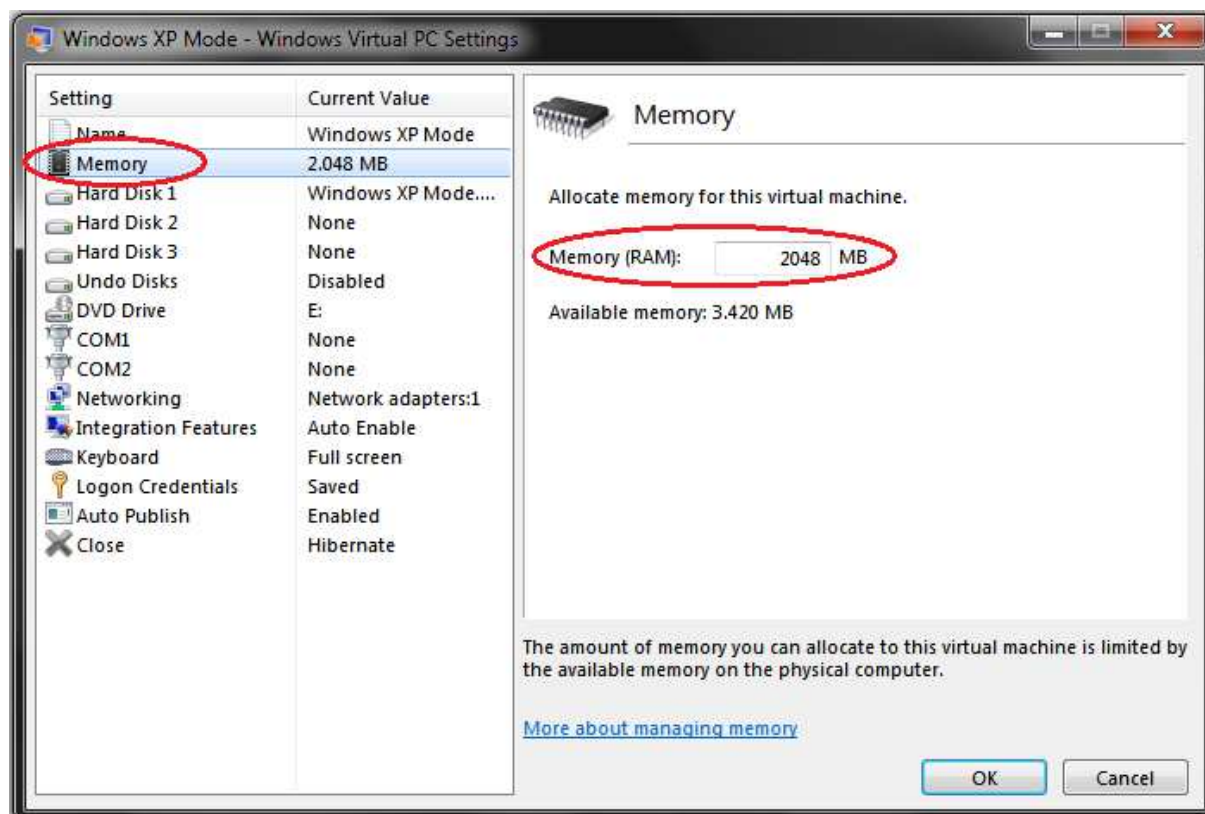
Slika 4.1: Powered down status Windows XP moda

- Desnim klikom miša na start up ikonu *Windows XP Mode* otvara se padajući izbornik. U padajućem izborniku odabiremo opciju *Settings* – slika (4.2).

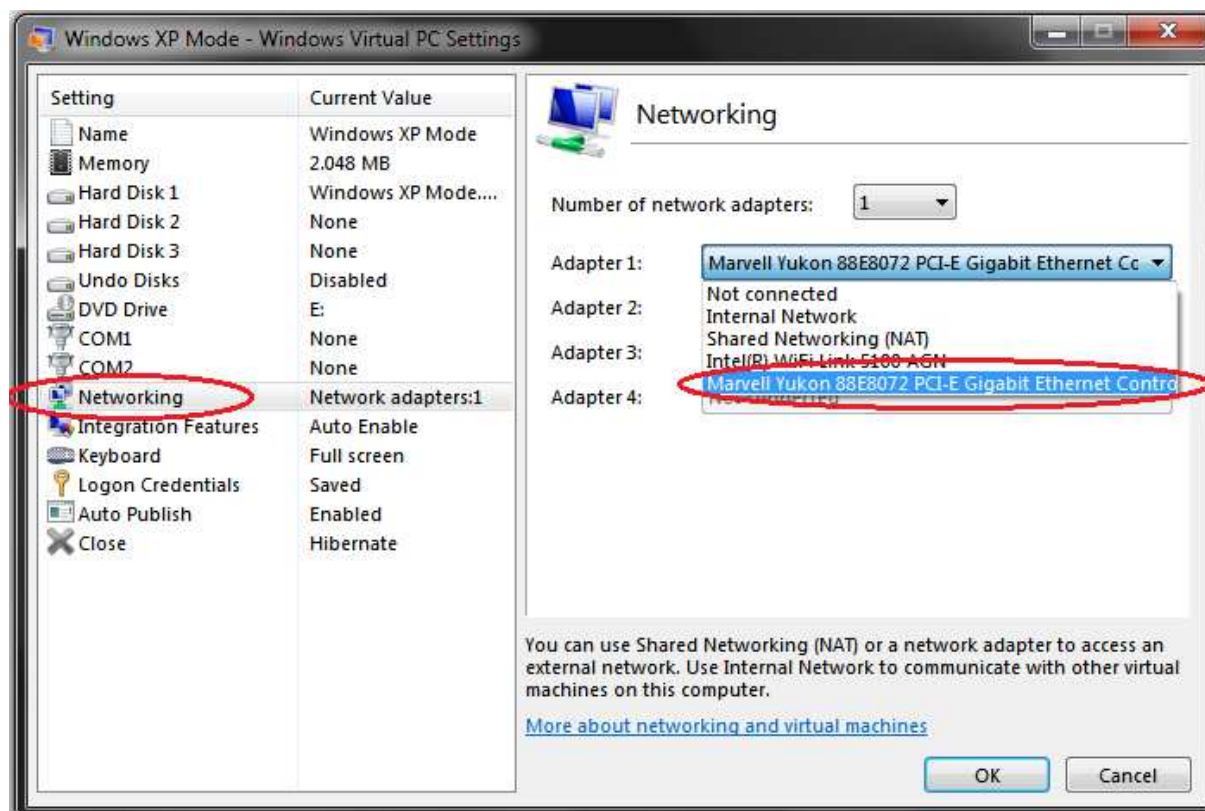


Slika 4.2: Odabir opcije Settings

- Otvaranjem opcije *Settings* otvara se izbornik u kojem je potrebno pridodati virtualnom računalu 2 GB RAM memorije, kao i odgovarajući komunikacijski Ethernet priključak koji računalu posjeduje – slike (4.3) i (4.4).



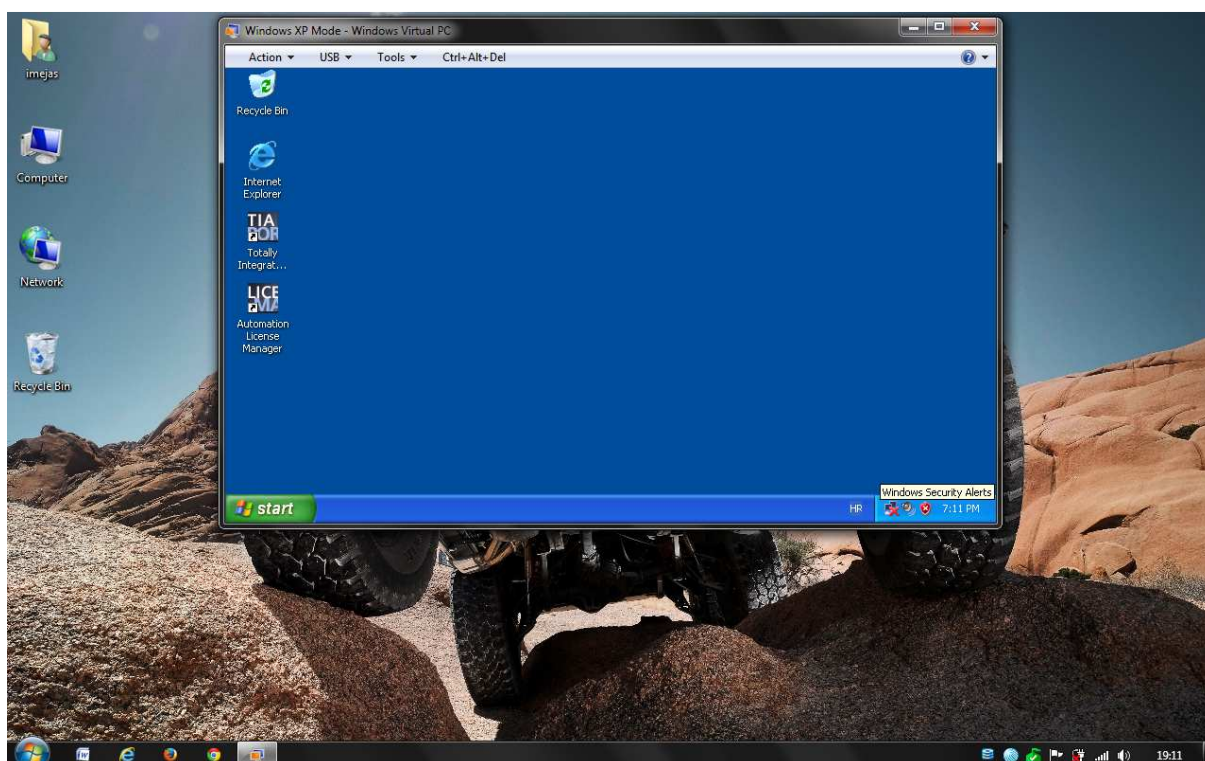
Slika 4.3: Potrebna RAM memorija virtualnog računala



Slika 4.4: Postavljanje Ethernet komunikacije

Četvrti korak:

- Da bi instalacija mogla biti provedena dokument sa instalacijskim paketom programa (*TIA Portal*) mora biti kopiran na virtualno računalo odnosno u virtualni Windows XP operacijski sustav.
- Program kao i instalacija neće se moći pokrenuti ako virtualni Windows XP operacijski sustav nije otvoren u *Full Screen* modu.

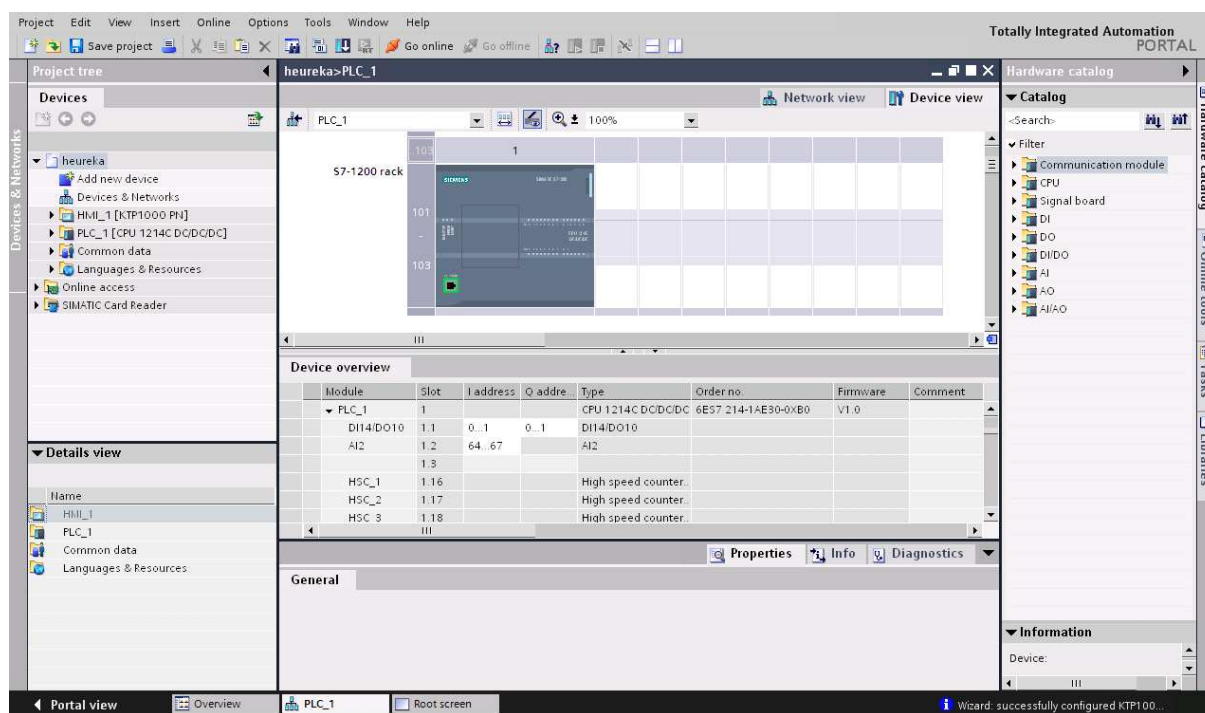


Slika 4.5: Prikaz virtualnog operacijskog sustava sa TIA Portal programskim paketom

4.2 Osnove – Totally Integrated Automation Portal

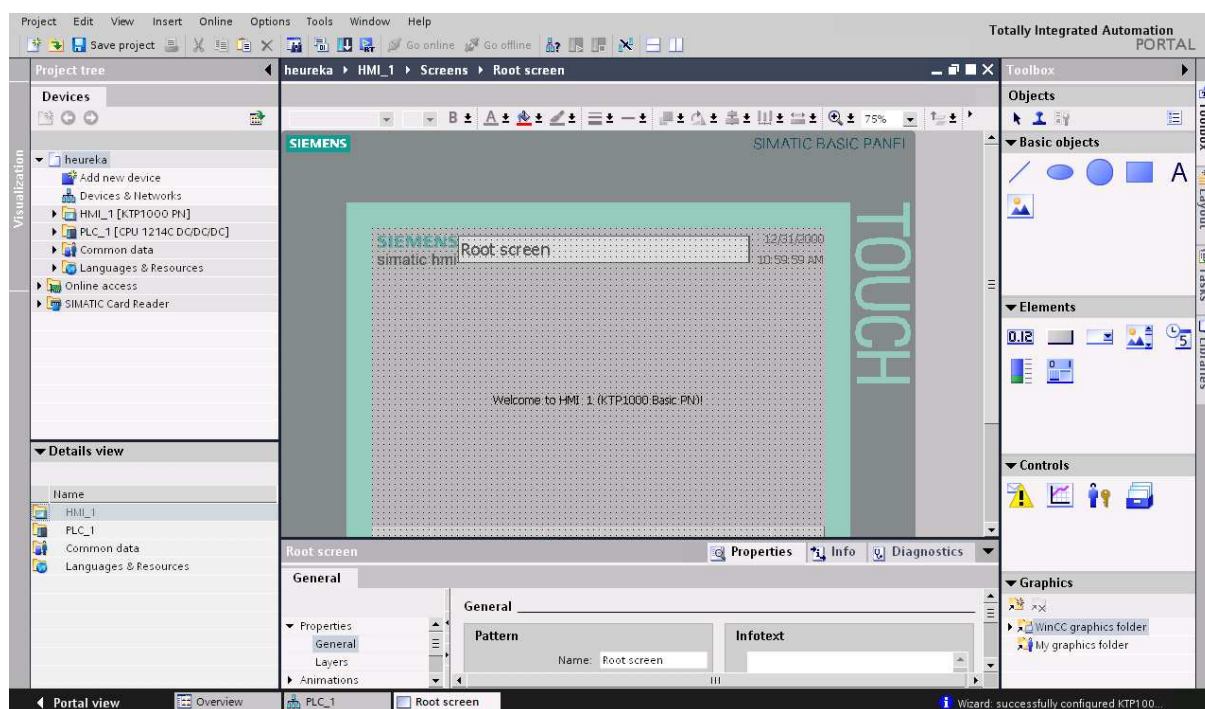
Totally Integrated Automation Portal (*TIA Portal*) je razvojni programski alat koji se sastoji od Simatic STEP 7 Basic programa koji omogućuje izradu upravljačkih aplikacija za Siemens Simatic S7-1200 PLC uređaje i Simatic WinCC programa za izradu interaktivnih nadzorno-upravljačkih aplikacija za HMI uređaje serije KTP.

Prvi korak u radu sa STEP 7 Basic programskim alatom je definiranje sklopovske konfiguracije PLC uređaja. U virtualnom se obliku dodaju moduli (CPU, SM, CM) od kojih se sastoji konfiguracija PLC uređaja instalirana na stvarnom sustavu na kojem se radi. Sljedeći korak je izrada upravljačkog programa. Nakon učitavanja sklopovske konfiguracije i upravljačkog programa u sam PLC uređaj, uključujemo "online" pregled programa. Time se provodi testiranje i zatim otklanjanje grešaka u logici, ako postoje.



Slika 4.6: Simatic STEP 7 Basic

Programski alat Simatic WinCC služi za razvoj i izradu interaktivnih nadzornih i upravljačkih aplikacija za HMI uređaje. U dijelu s alatima za izradu grafičkog sučelja moguće je odabrati osnovne objekte i elemente, ali i neke već gotove složenije grafičke elemente. Osnovni objekti se koriste za iscrtavanje linija, kvadrata i elipsa, pisanje teksta i unos grafičkih objekata izrađenih u nekom drugom programskom alatu. Kada izradimo nadzorno-upravljačku aplikaciju ona se učitava u internu memoriju HMI uređaja.



Slika 4.7: Simatic WinCC

4.3 Struktura upravljačkog programa

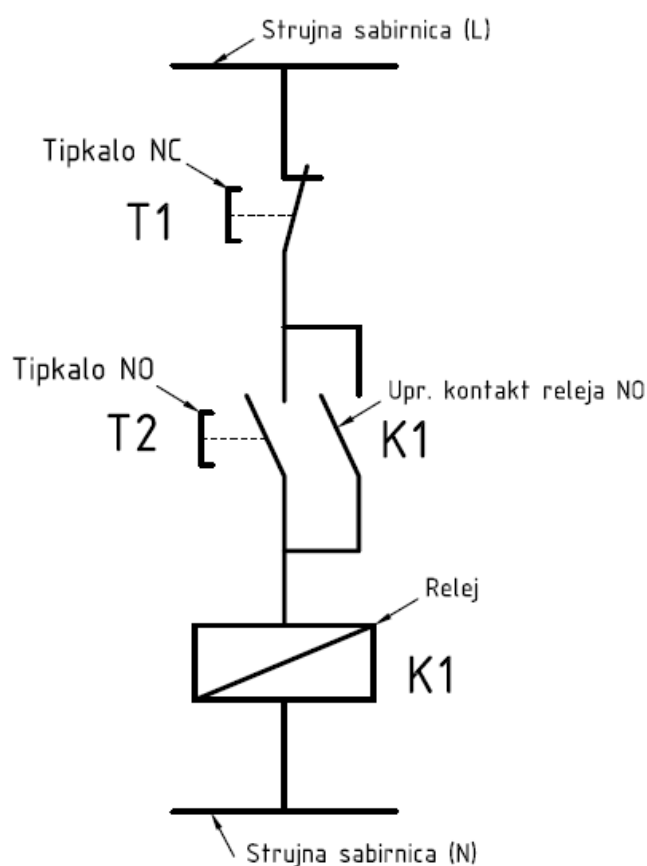
Upravljački program je organiziran kroz programske blokove koji zajedno tvore programsku cjelinu. Prednosti ovakvog strukturnog načina programiranja su jednostavna organizacija programa, jednostavna izmjena i testiranje koda, te po potrebi višestruka upotreba pojedinog bloka.

Prilikom izrade odnosno razvoja upravljačkog programa na SIMATIC S7-1200 PLC uređaju na raspolaganju su sljedeće vrste blokova:

- OB - Organizacijski blokovi (engl. Organization Blocks): Obavljaju temeljne funkcije kao što su cikličko izvršavanje programa, izvršavanje programa sa prekidima i detekcija pogreške u logici.
- FB – Funkcijski blokovi (engl. Function Blocks); FC – Funkcije (engl. Functions): To su potprogrami koji se pozivaju uvjetno ili bezuvjetno iz organizacijskih blokova ili drugih funkcijskih blokova.
- SFB - Sistemski funkcijski blokovi (engl. System Function Blocks); SFC - Sistemske funkcije (engl. System Function): Gotove rutine napisane od strane proizvođača koje izvode funkcije koje se često koriste u praksi prilikom programiranja PLC uređaja (akvizicija podataka, normiranje podataka, rukovanje pogreškama u radu).
- DB - Podatkovni blokovi (engl. Data Blocks): Predstavljaju statičku memoriju koja služi za čitanje ili pisanje podataka.

4.4 Programska sintaksa i instrukcije

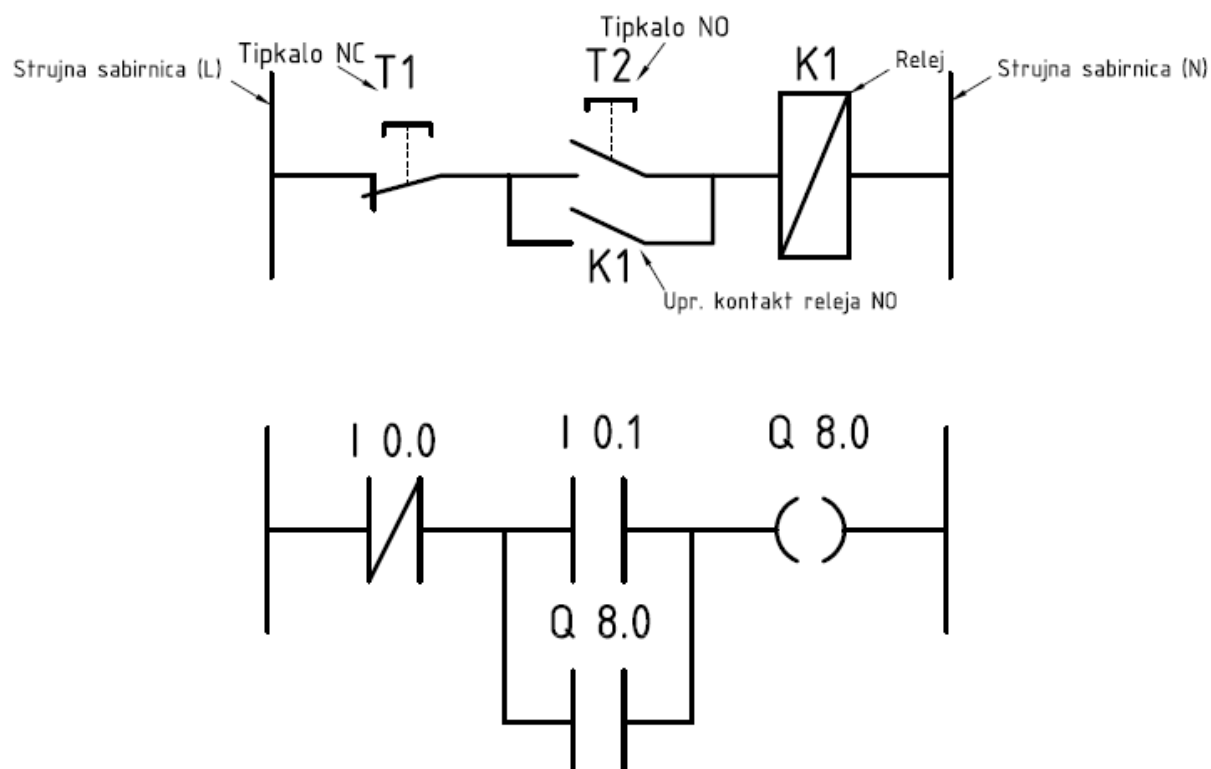
Za izradu upravljačkog programa u SIMATIC STEP 7 Basic programskom alatu nude se dva standardizirana programska jezika - kontakti dijagrami (eng. *Ladder Diagram, LAD*) i dijagram funkcijskih blokova (eng. *Function Block Diagram, FBD*). Kontakti dijagrami nastali su na bazi električnih relejnih shema koje je PLC trebao zamijeniti. Električne relejne sheme služile su kao prikaz redoslijeda paljenja i gašenja releja i aktuatora u relejnim automatskim sustavima. Svaki strujni krug u shemi prikazan je kao zaseban strujni vod, a svaki strujni vod sadrži minimalno jedan upravljeni uređaj (npr. relej, žarulja, ventil i sl.).



Slika 4.8: Električna relejna shema

Na slici (4.8) prikazani je jednostavni strujni krug koji se sastoji od tipkala T1 (*Normally closed* - NC) i T2 (*normally open* - NO), releja i njegovog kontakta K1. Kontakt releja je tzv. radni kontakt (normalno otvoreni, NO), te je potrebno dovesti električnu struju na svitak releja kako bi se njegov radni kontakt zatvorio (postavio se u stanje logičke jedinice). Kontakt releja može biti i mirni (normalno zatvoreni, NC), u tom slučaju relej u nepobuđenom stanju drži ovaj kontakt zatvorenim (inverzna logika). Pritiskom na tipkalo T2 relej se pobuđuje i uključuje radni kontakt K1. Pritiskom na tipkalo T1 prekida se strujni krug i kontakt K1 se vraća u početni položaj.

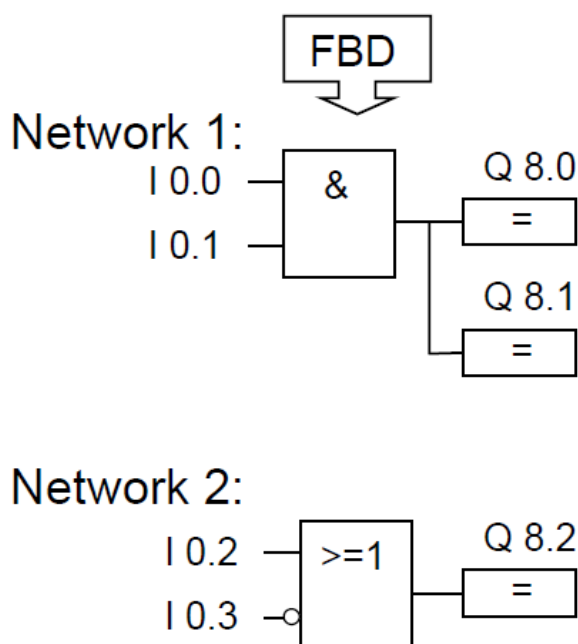
Kontaktni dijagram (*Ladder Diagram*) PLC programskog jezika vrlo je sličan strujnom krugu iz relejne sheme – slika (4.9).



Slika 4.9: Kontakti dijagram (LED)

Kod električne sheme simboli predstavljaju stvarne uređaje odnosno kontakte i njihovo ožičenje, dok kod kontaktnih dijagrama koji koriste slične simbole oni predstavljaju naredbe u programu. Razlika između kontaktnog dijagrama i strujne sheme je u tome što strujna shema prikazuje stanje kontakata (otvoreno ili zatvoreno) dok se u kontaktnom dijagramu ispituje logičko stanje signala navedenog iznad simbola (logička nula ili jedinica). Svaki programski logički krug u kontaktnom dijagramu mora imati najmanje jednu izlaznu naredbu, a obično sadrži jedan ili više uvjeta koji moraju biti zadovoljeni da bi se izvršila izlazna naredba. Kao što je prikazano na slici (4.9), program stalno kontrolira fizičke ulaze I 0.0 (normalno zatvoreni kontakt) i I 0.1 (normalno otvoreni kontakt) i upravlja izlazom Q 8.0. Normalno otvoreni kontakt se zatvara ako je signal I 0.0 u logičkoj jedinici, a normalno zatvoreni kontakt se otvara ako je signal I 0.1 u logičkoj nuli. Prema tome normalno otvoreni i normalno zatvoreni kontakt predstavljaju osnovne instrukcije za logičke operacije nad bitovima (*eng. bit logic instruction*). Složeniji programi u osnovi se sastoje od više osnovnih logičkih kontakata odnosno instrukcija, čijom se kombinacijom mogu postići logičke funkcije AND, OR, NOT, XOR.

Dijagram funkcijskih blokova (FBD) odgovara spajanju elektroničkih logičkih sklopova. Programski kod se zapisuje funkcijskim blokovima kojima se dodjeljuju ulazne i izlazne varijable. Za razliku od kontaktnog dijagrama gdje se ostvaruje virtualni tok snage, kod FB uspostavlja se virtualni tok signala – slika (4.10).



Slika 4.10: Dijagram funkcijskih blokova (FBD)

SIMATIC STEP 7 Basic ne podržava programiranje u drugim standardiziranim programskim jezicima kao što su statement liste (*eng. Statment List - STL*) i lista instrukcija (*eng. Structured Control Language - SCL*).

Osim logičkih operacija nad bitovima moguće je izvesti još neke osnovne instrukcije koje se često koriste u programima. U prvom redu govorimo o osnovnim matematičkim instrukcijama zbrajanja, oduzimanja, množenja i dijeljenja koje su primjenjive na cijele i realne brojeve. Složenije matematičke instrukcije kao što su $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\ln(x)$, $\exp(x)$, $\sqrt{(x)}$, itd. primjenjive su samo na realne vrijednosti.

Vrlo se često koriste i instrukcije za usporedbu prikazane u tablici (4.1). Njihova je funkcija dopuštanje ili odbijanje prolaza signala u odnosu na zadani uvjet. U klasičnoj programskoj sintaksi instrukcije za usporedbu odgovarale bi "IF" petlji.

Tablica 4.1: Instrukcije za usporedbu

Vrsta usporedbe:	Instrukcija daje izlaz "1" ako vrijedi relacija ulaza:
==	I1 je jednak I2
<>	I1 je različit od I2
>=	I1 je veći ili jednak I2
<=	I1 je manji ili jednak I2
>	I1 je veći od I2
<	I1 je manji od I2

Manipuliranje podacima iz memorijskih područja omogućuju instrukcije *Move* i *Move block*. Instrukcija *Move* služi za pohranjivanje podataka na nove adrese ili prijenos podataka na izlaze PLC-a te se često koristi u programima. Pomoću instrukcije *Block Move* mogu se prenositi čak i cijeli blokovi podataka sa jedne adrese na drugu. *Block Move* ima dodatni ulazni podatak koji određuje količinu podataka koja će se prenositi sa jedne adrese na drugu.

Brojači (*engl. Counters*) su instrukcije za brojanje unutarnjih i vanjskih procesa PLC-a. Koriste se kod vremenski ovisnih sustava u kojima se traži izvršavanje određene operacije nakon određenog broja impulsa. Senzori, kao što su inkrementalni enkoderi, daju informaciju u obliku digitalnih impulsa. Da bi se mogao dobiti odgovarajući oblik informacije, sa prethodno navedenih senzora, potrebni su brojači, a ponekad i posebne vrste brojača (*High speed counters* - sposobni za iznimno brzo brojanje impulsa).

Vrste brojača:

- CTU - Brojilo prema gore.
- CTD - Brojilo prema dolje.
- CTUD - Dvosmjerno brojilo.

Timeri, za razliku od brojača, ne mijenjaju svoju vrijednost ovisno o vanjskom ulaznom signalu, nego pomoću unutarnjeg davača impulsa u pravilnim razmacima generiraju proteklo vrijeme. To vrijeme se može iskoristiti za mjerenje promjena koje se događaju u nekom realnom vremenu, ili jednostavno za pravilni, taktni rad upravljačkog programa.

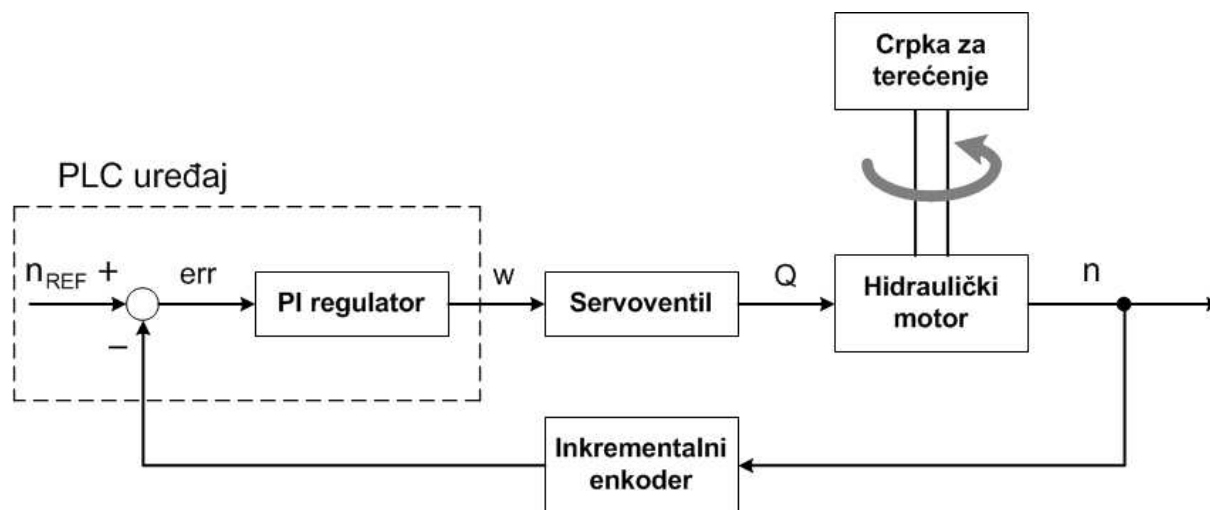
Vrste timera:

- TP (*Pulse timer*) - Generira impuls određene širine.
- TON (*ON-delay timer*) - Nakon vremenski određene zadržke postavlja izlaz u stanje logičke jedinice.
- TOF (*OFF-delay timer*) - Nakon vremenski određene zadržke postavlja izlaz u stanje logičke nule.

TONR (*ON-delay retentive timer*) - timer zbraja sva vremena dok je ulaz u stanju logičke jedinice, te kad suma dostigne određeno vrijeme, timer postavlja izlaz u stanje logičke nule.

5. REGULACIJA BRZINE VRTNJE HIDROMOTORA

PLC uređaj, kao središnji upravljački element sustava regulacije, mora biti programiran tako da prima i obrađuje signale sa senzora, s obzirom na referentnu vrijednost brzine izračunava pogrešku, te preko softverskog PI regulatora šalje odgovarajući naponski signal na servoventil.



Slika 5.1: Regulacijski krug kojim PLC uređaj mora upravljati

5.1 Povezivanje PLC uređaja sa elektrohidrauličkim laboratorijskim postavom

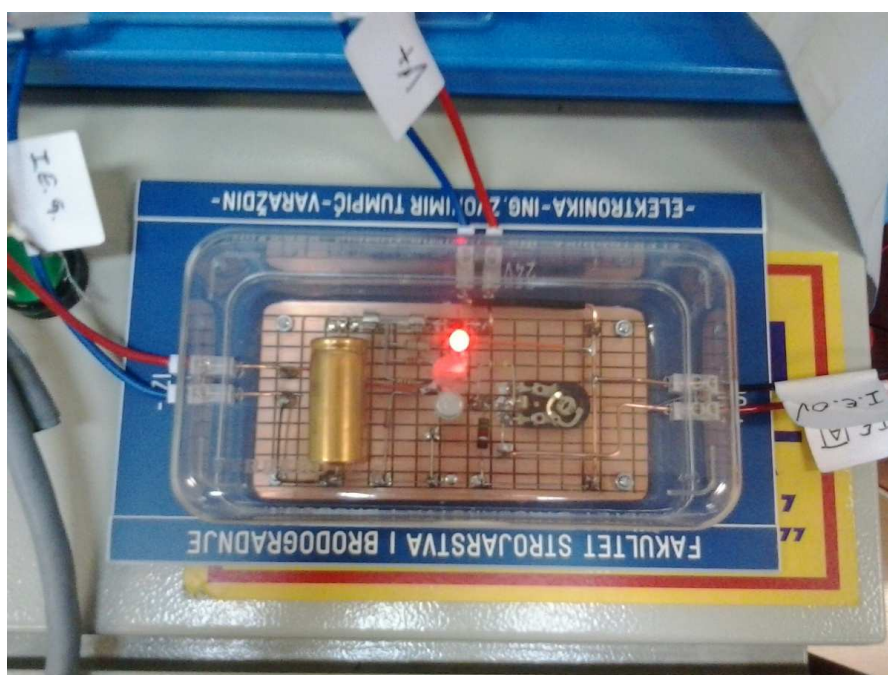
Na predviđene ulaze Siemens SIMATIC S7-1200 PLC uređaja potrebno je dovesti istosmjerni napon napajanja od ± 24 V. Digitalni ulazi odnosno izlazi PLC-a interpretiraju digitalni naponski signal u rasponu od 0 do maksimalno 5V kao logičku nulu, dok naponski signal od minimalno 15V predstavlja logičku jedinicu.

Na inkrementalni enkoder odnosno senzor brzine vrtnje potrebno je dovesti istosmjerni napon napajanja od ± 5 V. Raspon izlaznog pravokutnog digitalnog A signala sa senzora, generiranog pri vrtnji hidromotora iznosi od 0 do 5V. Na slici (5.2) prikazana je redna stezaljka koja povezuje izvor istosmjernog napona ± 5 V sa inkrementalnim enkoderom, te predaje A signal sa inkrementalnog enkodera prema digitalnom pojačalu.



Slika 5.2: Redna stezaljka

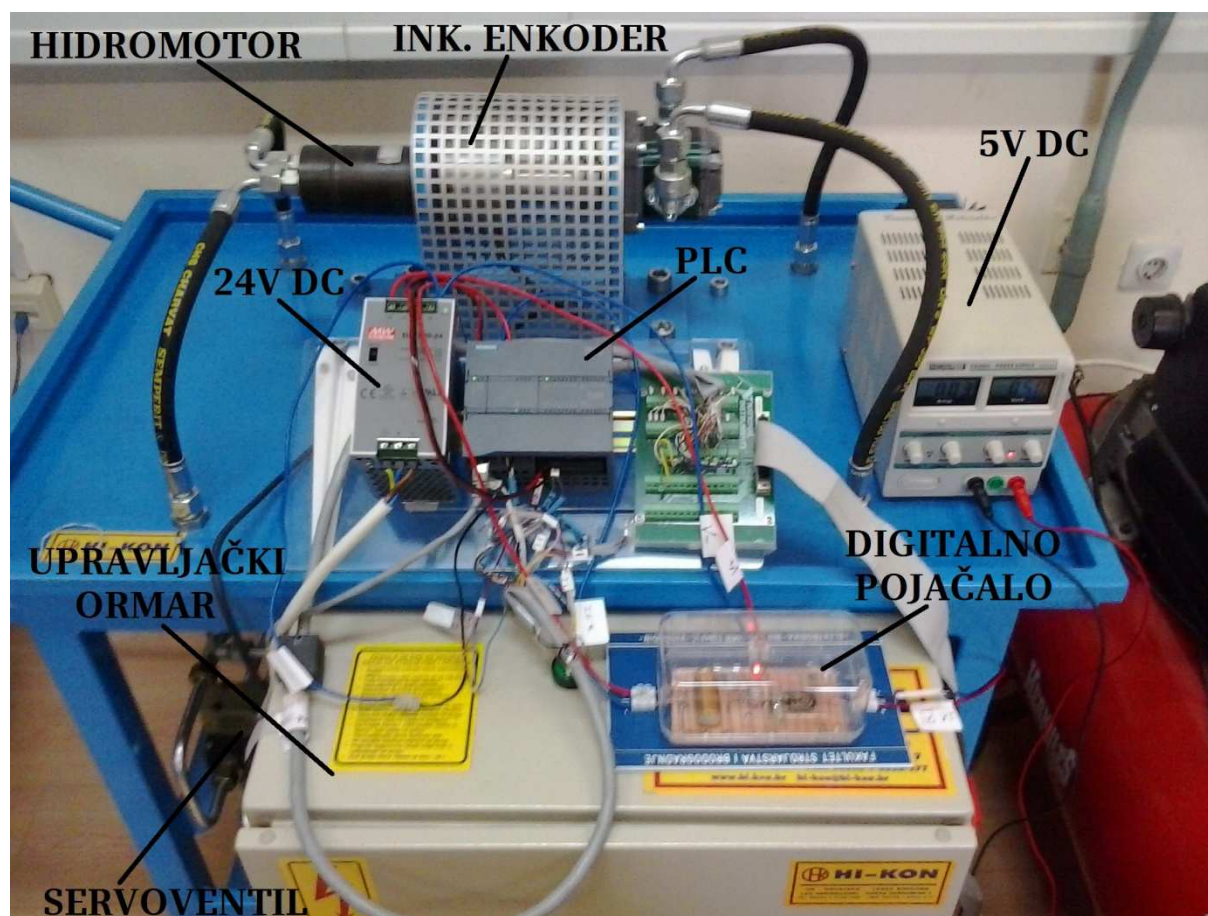
Na slici (5.3) prikazano je inverzno digitalno pojačalo koje pojačava digitalni signal sa inkrementalnog enkodera, naponskog nivoa od 0 do 5V, na naponski nivo koji odgovara stanju logičke jedinice ili nule digitalnih ulaza SIMATIC S7-1200 PLC uređaja. Maksimalna frekvencija rada digitalnog pojačala je 117 kHz-a, dok se pri maksimalnoj brzini vrtnje hidromotora generira digitalni A signal frekvencije oko 15,5 kHz-a. Digitalno se pojačalo napaja iz istosmjernog izvora ± 24 V.



Slika 5.3: Digitalno pojačalo

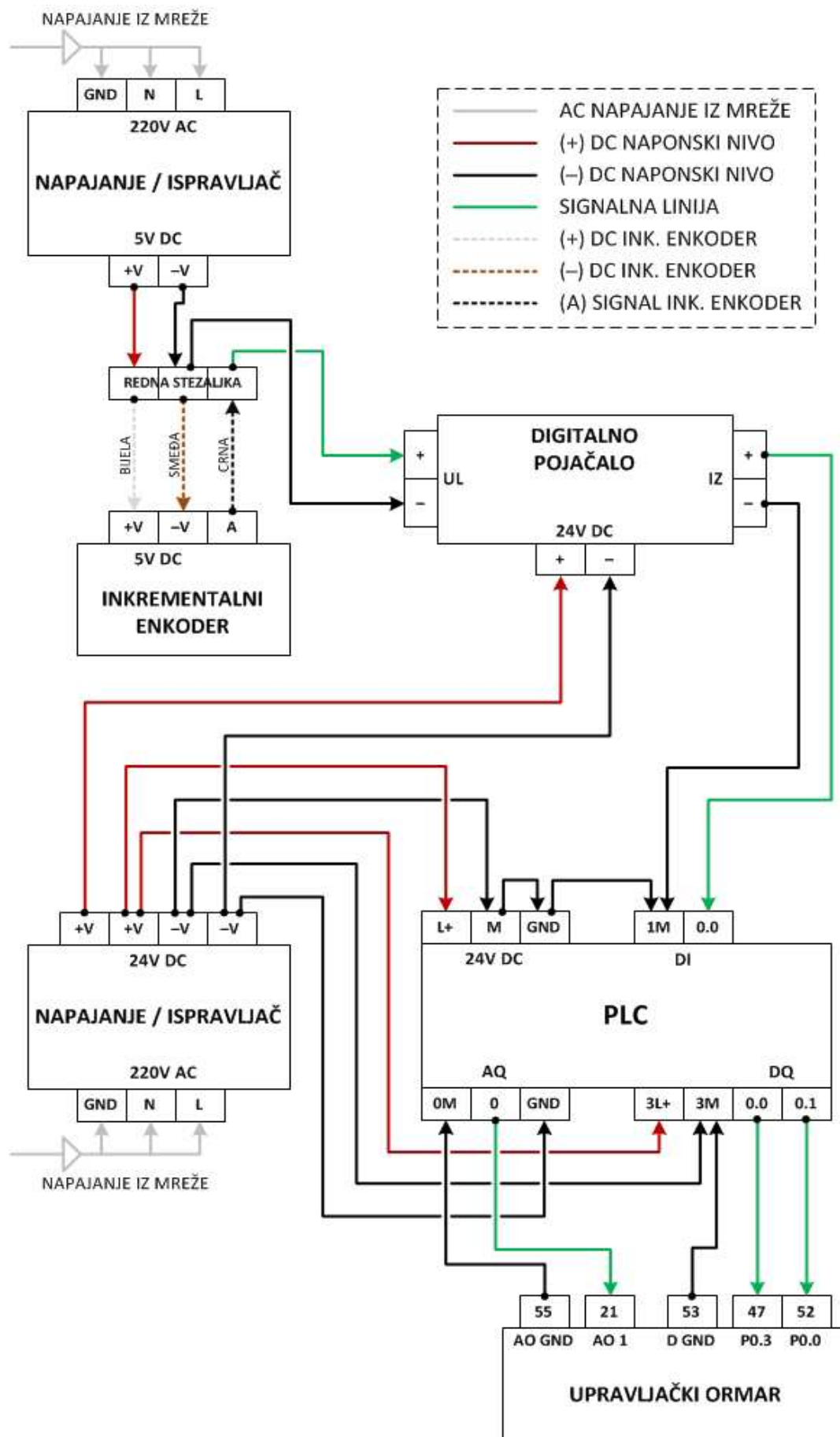
Signalima sa digitalnih izlaza PLC-a aktiviraju se frekvencijski pretvarač i elektromagnetski ventil, koji puštaju elektrohidraulički postav u pogon. Signalom sa analognog izlaza (0 do 10V) regulira se protok ulja kroz servoventil, koji utječe na brzinu vrtnje hidromotora. Analogni i digitalni izlazni signali PLC-a šalju se u upravljački ormar gdje se distribuiraju prema navedenim aktuatorima.

Na slici (5.4) prikazan je elektrohidraulički laboratorijski postav sa aktivnim upravljačkim komponentama.



Slika 5.4: Prikaz laboratorijskog postava sa aktivnim upravljačkim komponentama

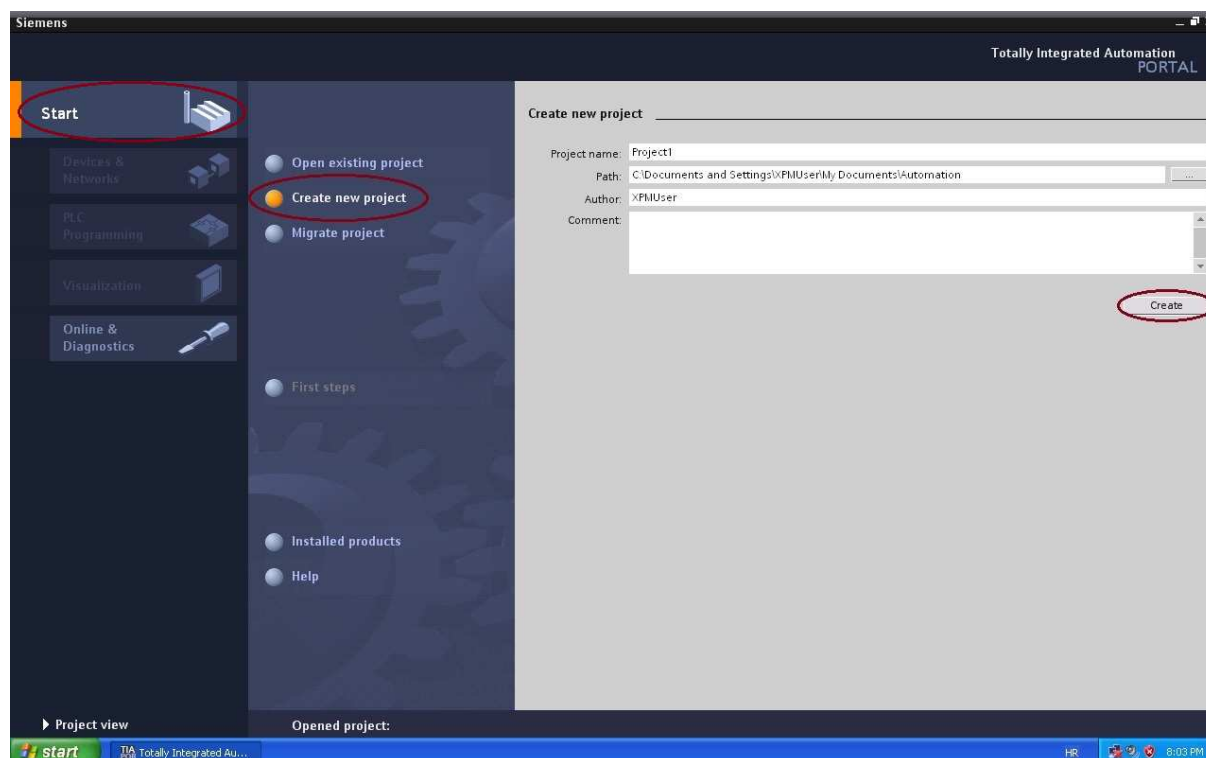
Na slici (5.5) prikazana je detaljna blok shema koja prikazuje sve bitne komponente sustava, kao i način njihovog povezivanja.



Slika 5.5: Blok shema povezivanja komponenti elektrohidrauličkog sustava i PLC uređaja

5.2 Izrada upravljačkog programa

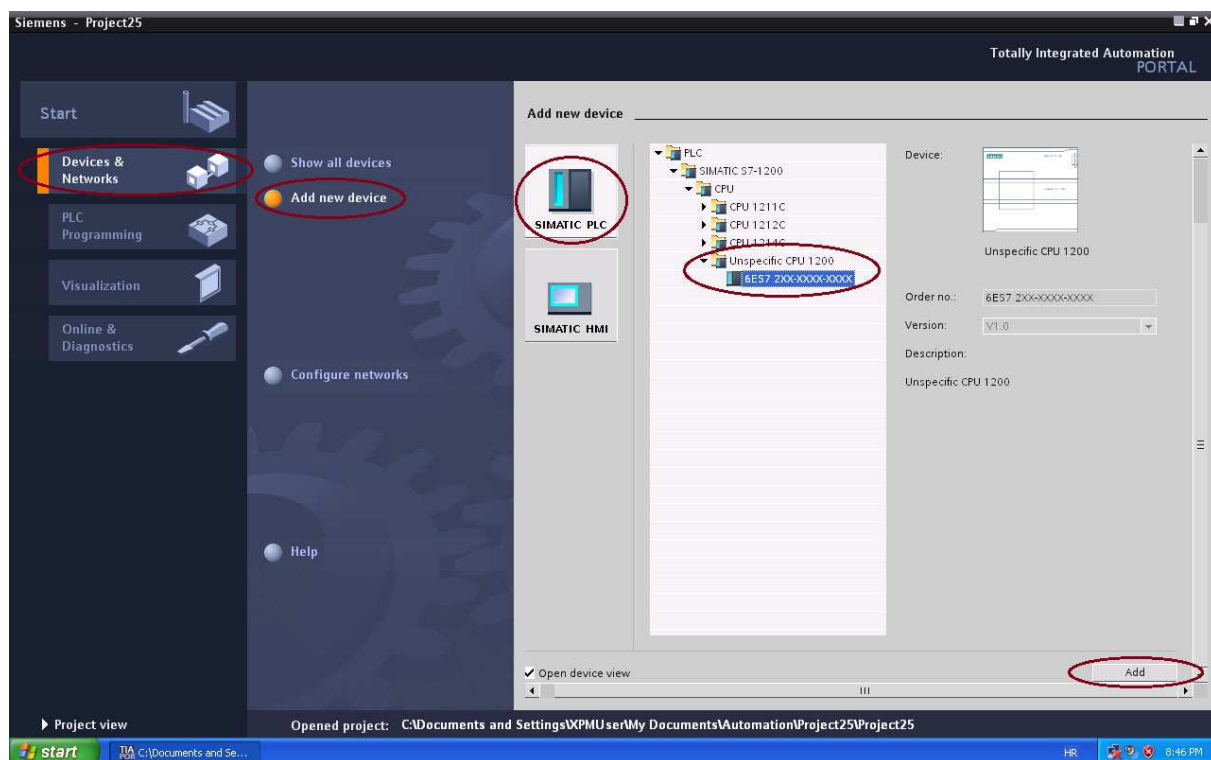
Kada pokrenemo *Totally Integrated Automation Portal* programski paket otvara se *Project view* editor. Pritiskom na *Start* → *Create new project* → *Create*, kreirali smo novi projekt odnosno novi upravljački program, kao što je to prikazano na slici (5.6).



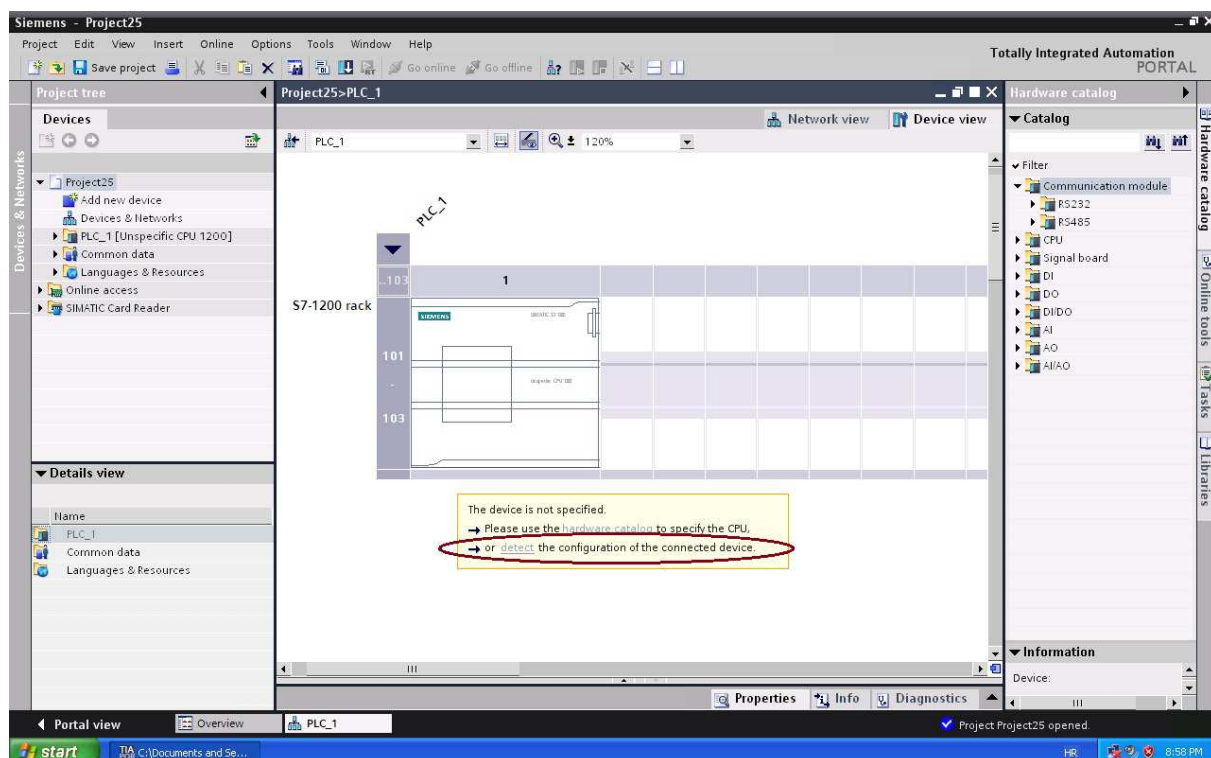
Slika 5.6: Project view editor

Nakon što smo kreirali novi projekt, pritiskom na *Devices & Networks* → *Add new device* → *SIMATIC PLC* → *Unspecific CPU 1200* → *Add*, odabiremo neodređenu sklopovsku konfiguraciju PLC uređaja – slika (5.7). Pritiskom na *Add* otvara se sučelje Simatic STEP 7 Basic programa – slika (5.8).

Pritiskom na *detect the configuration of the connected device*, automatski detektiramo sklopovsku konfiguraciju i uspostavljamo komunikaciju sa PLC uređajem.

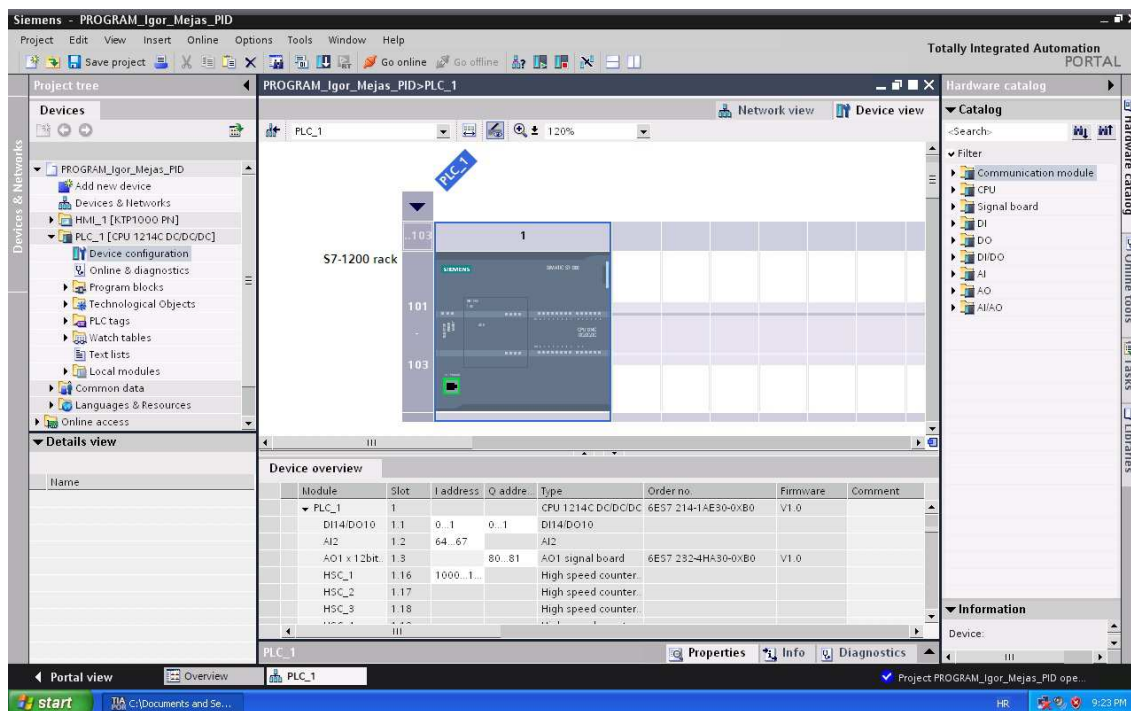


Slika 5.7: Odabir neodređene sklopovske konfiguracije PLC uređaja



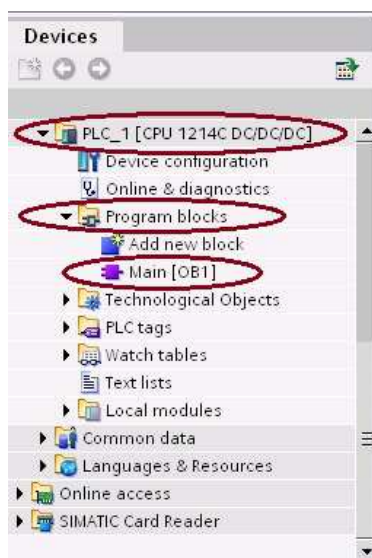
Slika 5.8: Automatska detekcija sklopovske konfiguracije PLC uređaja

Kada je učitana sklopovska konfiguracija i uspostavljena komunikacija sa PLC uređajem možemo početi sa izradom upravljačkog programa. Upravljački program pišemo pomoću kontaktnog dijagrama odnosno u LAD programskom jeziku. Učitana sklopovska konfiguracija (*Device configuration*) prikazana je na slici (5.9).



Slika 5.9: Učitana sklopovska konfiguracija PLC uređaja

Odabirom *PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC]* → *Program blocks* → *Main [OB1]* u padajućem izborniku *Devices*, kreiramo glavni program – slika (5.10).

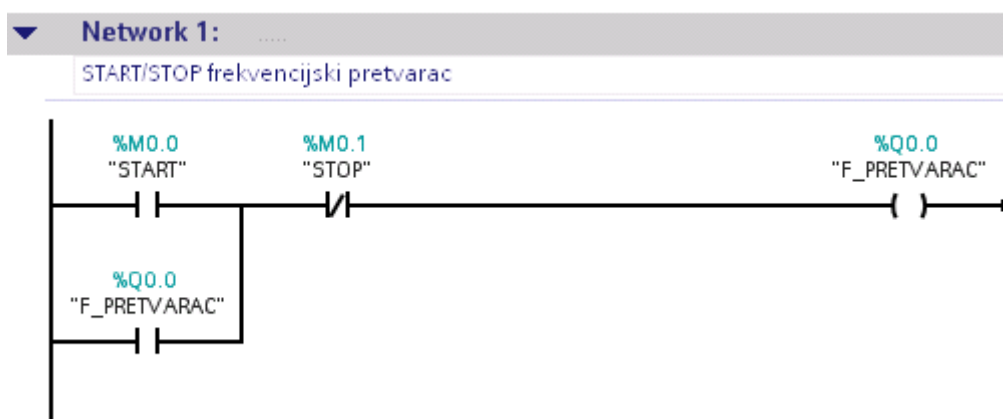


Slika 5.10: Padajući izbornik - Devices

5.2.1 Glavni program– Main [OB1]

Main OB1 se sastoji od tri programske mreže (eng. Network), te se izvršava ciklički bez prekida. Funkciju svake programske mreže ćemo posebno opisati.

➤ Programska mreža 1:



Slika 5.11: OB1 – programska mreža 1

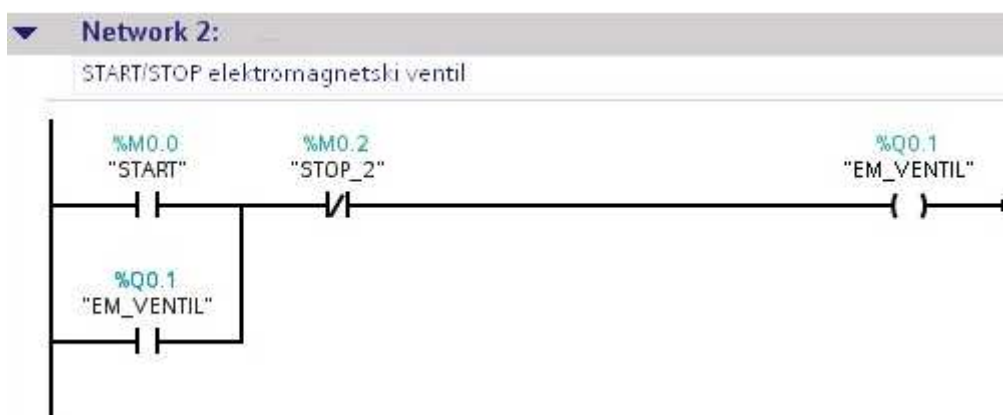
Programska mreža 1, prikazana na slici (5.11), prikazuje programski izveden sklop za samodržanje, te služi za uključivanje odnosno isključivanje frekvencijskog pretvarača na elektrohidrauličkom postavu.

Kada se bit na adresi radnog kontakta *M0.0* („START“) postavi u stanje logičke jedinice aktivira se digitalni izlaz PLC-a *Q0.0* („F_PRETVARAC“), koji šalje digitalni impuls odnosno naponski signal koji odgovara stanju logičke jedinice na frekvencijski pretvarač. Frekvencijski pretvarač pokreće hidraulički crpni agregat koji napaja elektrohidraulički postav sa radnim fluidom (uljem).

Ako se bit na adresi radnog kontakta *M0.0* postavi u stanje logičke nule digitalni izlaz *Q0.0* ostaje aktivan, jer je bit na adresi njegovog radnog kontakta u stanju logičke jedinice (samodržanje).

Kada se bit na adresi mirnog kontakta *M0.1* („STOP“) postavi u stanje logičke jedinice deaktivira se digitalni izlaz PLC-a *Q0.0*, te se frekvencijski pretvarač gasi.

➤ Programska mreža 2:



Slika 5.12: OB1 – programska mreža 2

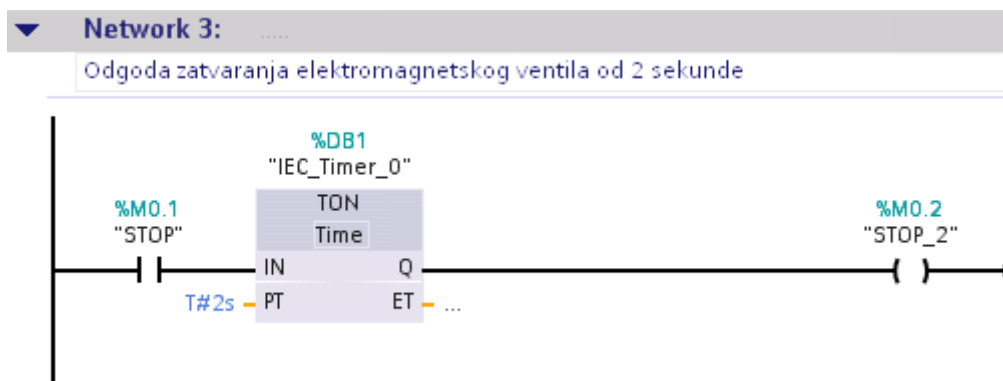
Programska mreža 2, prikazana na slici (5.12), prikazuje programski izveden sklop za samodržanje, te služi za otvaranje odnosno zatvaranje elektromagnetskog ventila na elektrohidrauličkom postavu.

Kada se bit na adresi radnog kontakta *M0.0* („START“) postavi u stanje logičke jedinice aktivira se digitalni izlaz PLC-a *Q0.1* („EM_VENTIL“), koji šalje digitalni impuls odnosno naponski signal koji odgovara stanju logičke jedinice na elektromagnetski ventil. Otvoren elektromagnetski ventil propušta fluid prema servoventilu.

Ako se bit na adresi radnog kontakta *M0.0* postavi u stanje logičke nule digitalni izlaz *Q0.1* ostaje aktivan, jer je bit na adresi njegovog radnog kontakta u stanju logičke jedinice (samodržanje).

Kada se bit na adresi mirnog kontakta *M0.2* („STOP_2“) postavi u stanje logičke jedinice deaktivira se digitalni izlaz PLC-a *Q0.1*, te se elektromagnetski ventil zatvara.

➤ Programska mreža 3:



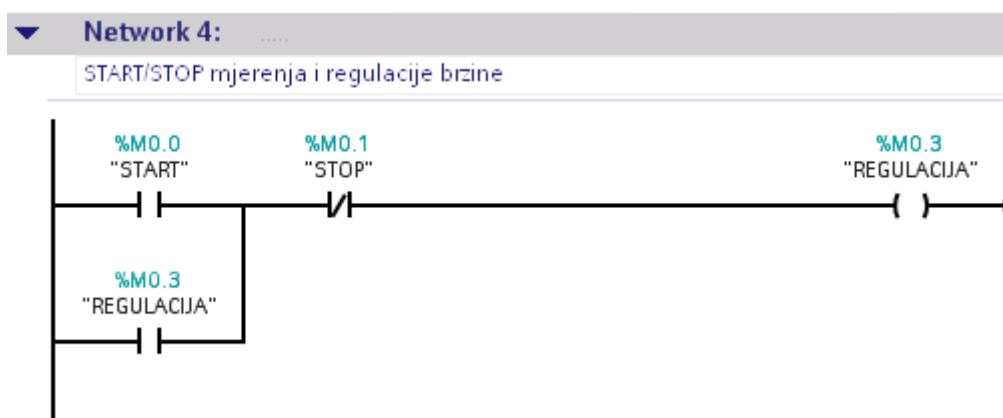
Slika 5.13: OB1 – programska mreža 3

Programska mreža 3, prikazana na slici (5.13), služi za vremensku odgodu zatvaranja elektromagnetskog ventila.

Kada se bit na adresi radnog kontakta *M0.1* („STOP“) postavi u stanje logičke jedinice aktivira se tajmer sa kašnjenjem uključenja (TON). Tajmer s kašnjenjem uključenja broji 2 sekunde, nakon čega se bit na adresi mirnog kontakta *M0.2* („STOP_2“) postavlja u stanje logičke jedinice.

Pomoću ovog programski izvedenog sklopa elektromagnetski ventil se zatvara 2 sekunde kasnije nego što se ugasi hidraulički crpni agregat.

➤ Programska mreža 4:



Slika 5.14: OB1 – programska mreža 4

Programska mreža 4, prikazana na slici (5.14), prikazuje programski izveden sklop za samodržanje, te služi za aktiviranje odnosno deaktiviranje procesa mjerenja i regulacije brzine vrtnje hidromotora.

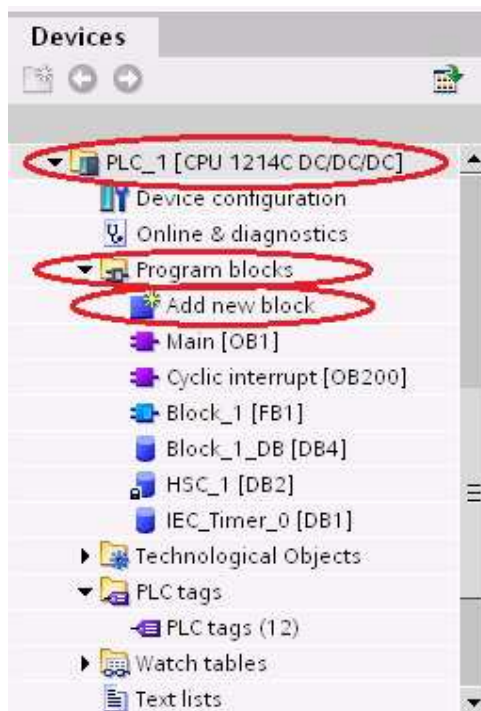
Kada se bit na adresi radnog kontakta *M0.0* („START“) postavi u stanje logičke jedinice, bitovi na adresama radnih kontakata *M0.3* („REGULACIJA“) također prelaze u stanje logičke jedinice. Kada su kontakti *M0.3* u stanju logičke jedinice, aktivna je i programska sintaksa za mjerenje i regulaciju brzine vrtnje hidromotora.

Ako se bit na adresi radnog kontakta *M0.0* postavi u stanje logičke nule bitovi na adresama radnih kontakata *M0.3* ostaju aktivni (samodržanje).

Kada se bit na adresi mirnog kontakta *M0.1* („STOP“) postavi u stanje logičke jedinice, bitovi na adresama radnih kontakata *M0.3* prelaze u stanje logičke nule, te se deaktivira programska sintaksa za mjerenje i regulaciju brzine vrtnje hidromotora.

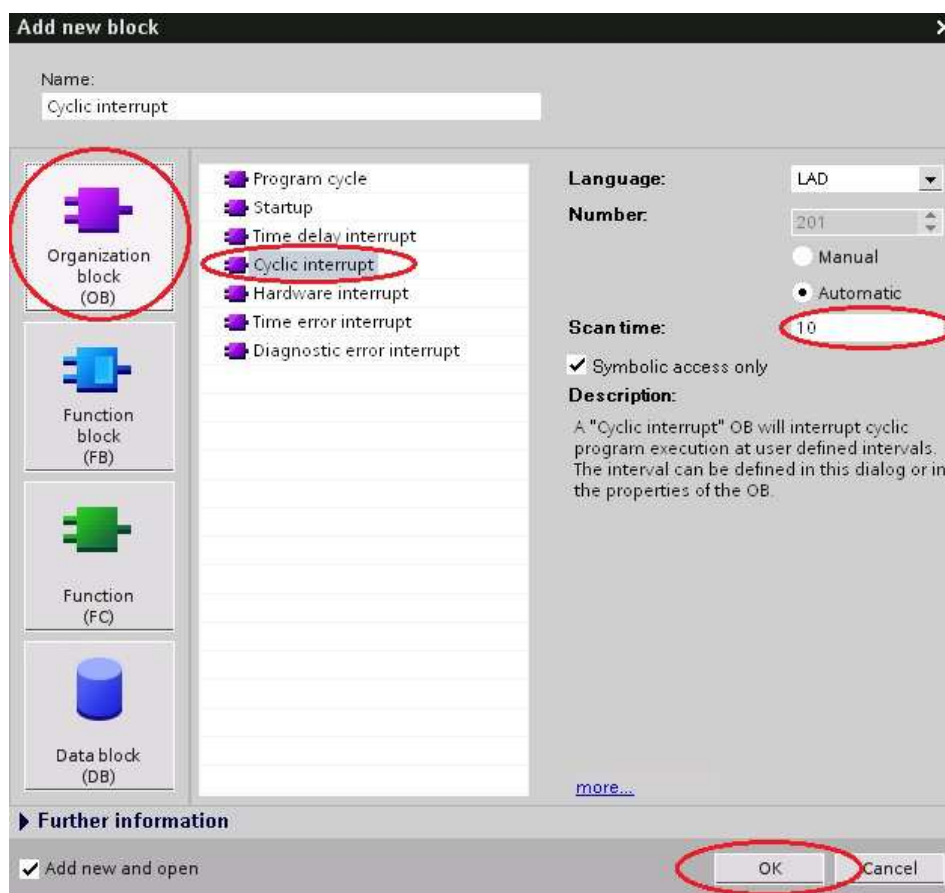
5.2.2 Potprogram – Cyclic interrupt [OB200]

Cyclic interrupt [OB200] kreira se odabirom *PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC]* → *Program blocks* → *Add new block* → *Organization block (OB)* → *Cyclic interrupt*, kao što je to prikazano na slikama (5.15) i (5.16).



Slika 5.15: Dodavanje novog programskog bloka (potprograma)

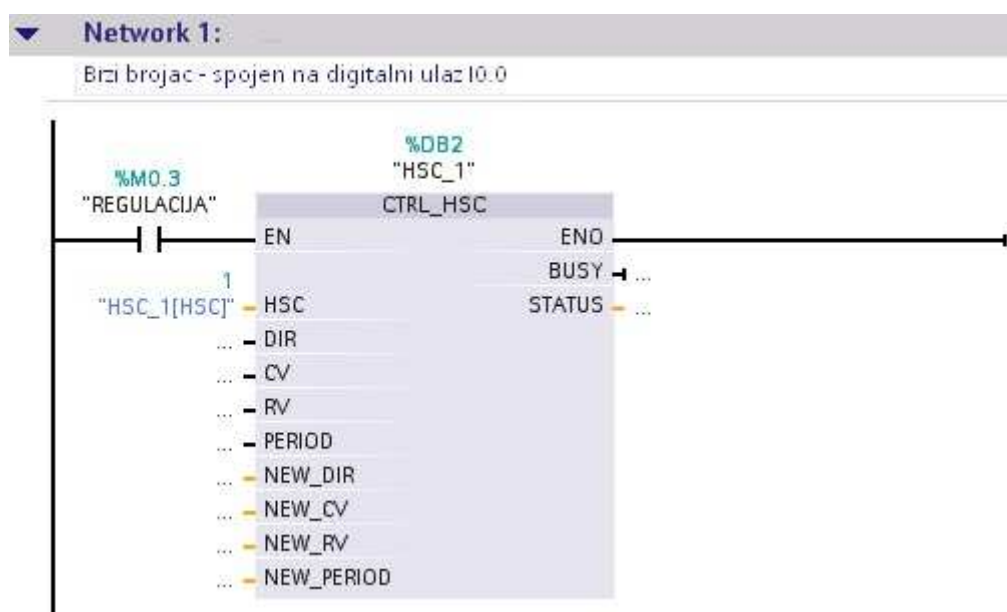
Cyclic interrupt potprogram izvršava se u određenim vremenskim intervalima. Vrijeme uzorkovanja *Cyclic interrupt* potprograma postavljeno je na 10 ms, te se ono po potrebi može smanjiti ili povećati.



Slika 5.16: Kreiranje cikličkog prekida

Cyclic interrupt [0B200] sastoji se od 5 programskih mreža, te ćemo funkciju svake programske mreže posebno opisati.

➤ Programska mreža 1:



Slika 5.17: OB200 – programska mreža 1

U programskoj mreži 1, prikazanoj na slici (5.17), nalazi se gotov algoritam odnosno funkcijski blok brzog brojača (*CTRL_HSC*), koji služi za brojanje iznimno brzih impulsa sa inkrementalnog enkodera. U tablici (5.1) dan je opis ulaznih i izlaznih parametara brzog brojača.

Tablica 5.1: Opis ulaznih i izlaznih parametara funkcijskog bloka brzoga brojača

Ulazni i izlazni parametri		Opis
HSC	ULAZ	<i>HSC identifikacija</i>
DIR	ULAZ	<i>1 = Zahtjev za promjenu smjera brojanja</i>
CV	ULAZ	<i>1 = Zahtjev za postavljanje nove vrijednosti brojača</i>
RV	ULAZ	<i>1 = Zahtjev za postavljanje nove referentne vrijednosti brojača</i>
PERIOD	ULAZ	<i>1 = Zahtjev za promjenu vremena uzorkovanja (samo u modu za mjerenje frekvencije)</i>
NEW_DIR	ULAZ	<i>Novi smjer brojanja: 1 = naprijed, -1 = natrag</i>
NEW_CV	ULAZ	<i>Nova vrijednost brojača</i>
NEW_RV	ULAZ	<i>Nova referentna vrijednost brojača</i>
NEW_PERIOD	ULAZ	<i>Novo vrijeme uzorkovanja: 0.01, 0.1 ili 1s (samo u modu za mjerenje frekvencije)</i>
BUSY	IZLAZ	<i>Funkcija je zauzeta</i>
STATUS	IZLAZ	<i>Uvjet izvršavanja funkcije</i>

SIMATIC S7-1200 PLC uređaj nudi šest tipova brzih brojača i za svaki tip po tri moda brojanja impulsa. U tablici (5.2) prikazani su navedeni brzi brojači, njihovi modovi brojanja te digitalni ulazi PLC uređaja na koje se spajaju odgovarajući izlazi inkrementalnog enkodera ili sličnog uređaja.

Tablica 5.2: Tipovi brzih brojača - modovi brojanja impulsa s odgovarajućim digitalnim ulazima

HSC		Digital input 0 (default: 0.x)								Digital input 1 (default: 1.x)					
		0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5
HSC 1 ¹	1-phase	C	[d]		[R]										
	2-phase	CU	CD		[R]										
	AB-phase	A	B		[R]										
HSC 2 ¹	1-phase		[R]	C	[d]										
	2-phase		[R]	CU	CD										
	AB-phase		[R]	A	B										
HSC 3	1-phase					C	[d]		[R]						
	2-phase					CU	CD		[R]						
	AB-phase					A	B		[R]						
HSC 4	1-phase						[R]	C	[d]						
	2-phase						[R]	CU	CD						
	AB-phase						[R]	A	B						
HSC 5 ¹	1-phase									C	[d]	[R]			
	2-phase									CU	CD	[R]			
	AB-phase									A	B	[R]			
HSC 6 ¹	1-phase												C	[d]	[R]
	2-phase												CU	CD	[R]
	AB-phase												A	B	[R]

Jedno-fazno brojanje impulsa (*1-phase*):

- C – ulaz za brojanje impulsa
- [d] – opcionalan ulaz za smjer brojanja impulsa
- [R] – opcionalan ulaz za eksterno resetiranje brojača
 - Reset je dostupan jedino u *Counting* modu

Dvo-fazno brojanje impulsa (2-phase):

- CU – ulaz za brojanje impulsa prema većoj vrijednosti
- CD – ulaz za brojanje impulsa prema manjoj vrijednosti
- [R] – opcionalan ulaz za eksterno resetiranje brojača
 - Reset je dostupan jedino u *Counting* modu

A/B fazno pomaknuto brojanje impulsa (A/B-phase):

- A – ulaz za brojanje impulsa faze A
- B – ulaz za brojanje impulsa faze B
- [R] – opcionalan ulaz za eksterno resetiranje brojača
 - Reset je dostupan jedino u *Counting* modu

U tablici (5.3) prikazane su maksimalne frekvencije rada prethodno navedenih brzih brojača.

Tablica 5.3: Podjela brzih brojača prema maksimalnoj frekvenciji rada

HSC		Single phase	Two phase and AB quadrature
HSC1	CPU	100 KHz	80 KHz
	High-speed SB	200 KHz	160 KHz
	SB	30 KHz	20 KHz
HSC2	CPU	100 KHz	80 KHz
	High-speed SB	200 KHz	160 KHz
	SB	30 KHz	20 KHz
HSC3	CPU	100 KHz	80 KHz
HSC4	CPU	30 KHz	20 KHz
HSC5	CPU	30 KHz	20 KHz
	High-speed SB	200 KHz	160 KHz
	SB	30 KHz	20 KHz
HSC6	CPU	30 KHz	20 KHz
	High-speed SB	200 KHz	160 KHz
	SB	30 KHz	20 KHz

Tablica (5.4) prikazuje standardne adrese pridodane pojedinom brzom brojaču sa kojih se mogu čitati njihove trenutne vrijednosti.

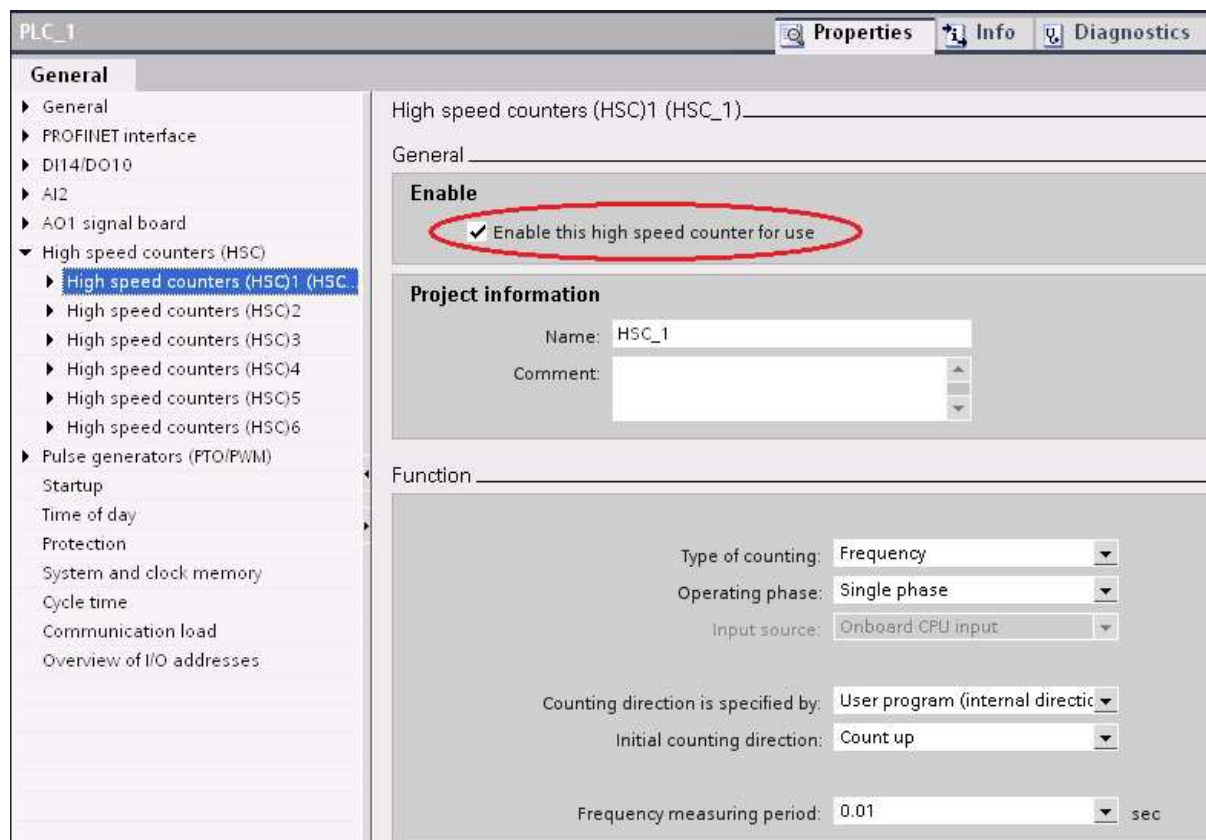
Tablica 5.4: Adrese sa kojih se čitaju vrijednosti brzih brojača

HSC	Data type	Default address
HSC1	DInt	ID1000
HSC2	DInt	ID1004
HSC3	DInt	ID1008
HSC4	DInt	ID1012
HSC5	DInt	ID1016
HSC6	DInt	ID1020

Odabir odgovarajućeg brzog brojača

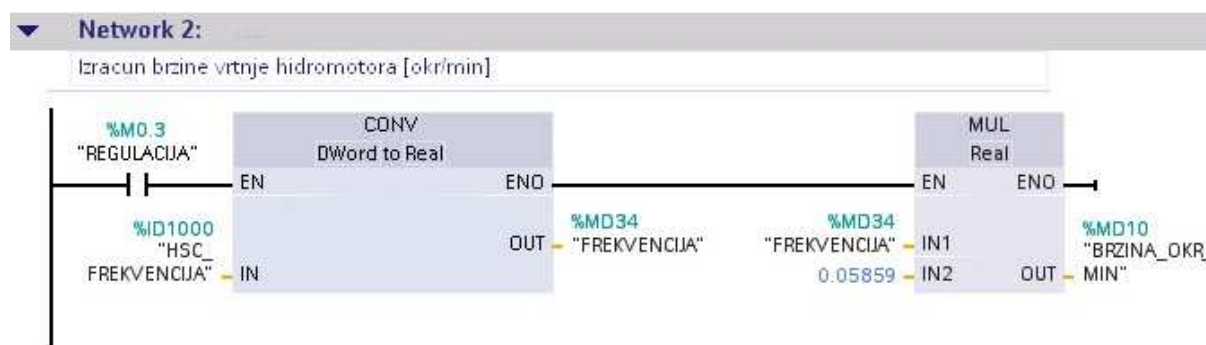
Prvi korak prilikom odabira brzoga brojača je njegova aktivacija u sklopovskoj konfiguraciji PLC-a, nakon koje se brzi brojač može koristiti u programskoj sintaksi – slika (5.18). Za brojanje impulsa sa inkrementalnog enkodera odabrati ćemo brzi brojač HSC1. Pošto koristimo samo A signal odnosno samo jednu fazu signala sa inkrementalnog enkodera, njegovu signalnu liniju ćemo spojiti na *I0.0* digitalni ulaz PLC-a.

Prilikom odabira željenog brzog brojača moguće je i podesiti njegove parametre brojanja. Brojač smo podesili da broji frekvenciju sa vremenom uzorkovanja 10 ms. Kako bi se podatak o brzini vrtnje hidromotora mogao povezati sa brojem impulsa sa senzora, brzim se brojačem detektira razlika u frekvencijama između dva zadana vremenska perioda (vrijeme uzorkovanja). Vrijeme uzorkovanja je vremenski period kroz koji brzi brojač broji impulse, te ovisno o njihovoj većoj ili manjoj sumi u odnosu na vremenski period prije, detektira porast ili pad frekvencije odnosno brzine vrtnje hidromotora.



Slika 5.18: Pozivanje i parametriziranje željenog brzog brojača u sklopovskoj konfiguraciji PLC-a

➤ Programska mreža 2:



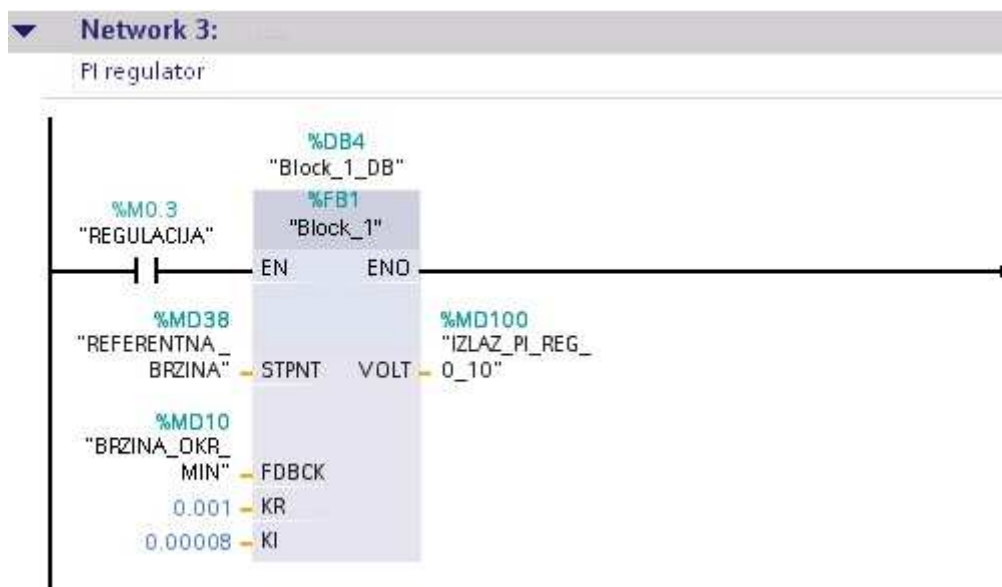
Slika 5.19: OB200 – programska mreža 2

Programska mreža 2, prikazana na slici (5.19), prikazuje izračun brzine vrtnje u okretajima u minuti na temelju poznate frekvencije vrtnje hidromotora.

Funkcijski blok *CONV* vrši prijevod podatka sa brzog brojača tipa *DWord* u podatak tipa *Real*, odnosno prevodi podatak o frekvenciji sa brzog brojača („HSC_FREKVENCIJA“) u decimalni zapis („FREKVENCIJA“).

Funkcijski blok *MUL* vrši množenje decimalnog zapisa frekvencije i konstante koju smo dobili pomoću jednadžbe (2.1). Rezultat množenja je vrijednost brzine vrtnje hidromotora u okretajima u minuti.

➤ Programska mreža 3:



Slika 5.20: OB200 – programska mreža 3

U programskoj mreži 3, prikazanoj na slici (5.20), nalazi se funkcijski blok PI regulatora (*FBI*), koji služi za regulaciju brzine vrtnje hidromotora.

Ulaz u funkcijski blok PI regulatora:

STPNT – Iznos brzine koju nakon regulacije hidromotor mora postići („REFERENTNA BRZINA“).

FDBCK – Trenutni iznos brzine vrtnje hidromotora („BRZINA_OKR_MIN“).

KR – Pojačanje regulatora odnosno pojačanje proporcionalnog člana.

$$K_R = K_P \quad (5.1)$$

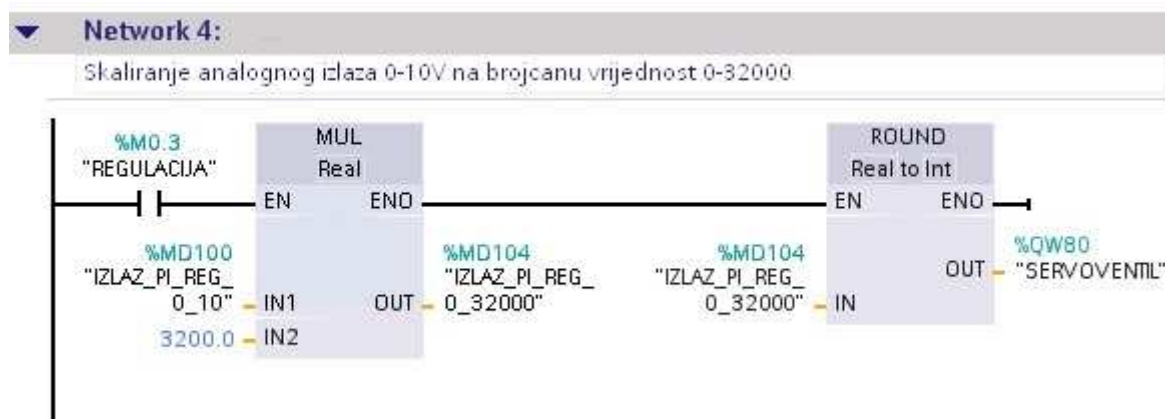
KI – Pojačanje integracijskog člana.

$$K_I = K_R \frac{T}{T_I} \quad (5.2)$$

Izlaz iz funkcijskog bloka PI regulatora:

VOLT – Izlazna vrijednost regulatora u rasponu od 0 do 10 („IZLAZ_PI_REG_0_10“).

➤ Programska mreža 4:



Slika 5.21: OB200 – programska mreža 4

Programska mreža 4, prikazana na slici (5.21), vrši interpolaciju naponskog signala analognog izlaza *QW80*.

Preko analognog izlaza *QW80* šaljemo analogni naponski signal na servoventil, koji je u rangu do 0 do 10V (radi otvaranja servoventila samo u jednu stranu i strujanja radnog fluida samo u jednom smjeru). Da bi analogni izlaz dao odgovarajući izlazni naponski signal, potrebno je provesti interpolaciju naponskog signala 0 do 10 V u rangu od 0 do 32000.

Funkcijski blok *MUL* izvodi operaciju množenja izlazne vrijednosti PI regulatora („IZLAZ_PI_REG_0_10“), koja je u rangu od 0 do 10, sa konstantnom 3200.

Kada se vrijednost izlaza PI regulatora pomnoži sa 3200, analogni izlaz daje naponski signal koji odgovara brojčanoj vrijednosti izlaza PI regulatora.

Funkcijski blok *ROUND* zaokružuje decimalnu vrijednost podatka dobivenog množenjem („IZLAZ_PI_REG_0_32000“), te ju šalje na analogni izlaz *QW80* („SERVOVENTIL“).

5.2.3 Tablica simbola

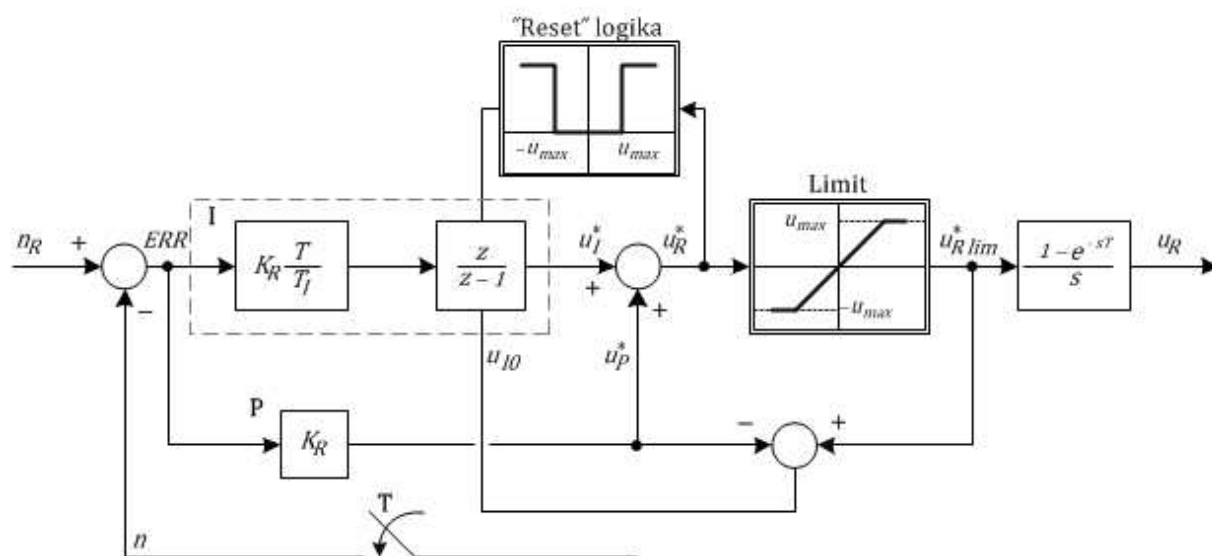
Tokom izrade upravljačkog programa u tablici simbola (*PLC tags*) svakoj adresi, koja se koristi u programu, moramo pridružiti simboličko ime, tip podatka i komentar – tablica (5.5).

Tablica 5.5: Tablica simbola upravljačkog programa

PLC tags					
	Name	Data type	Address	Retain	Comment
1	START	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	Zahtjev za pokretanje elektrohidrauličkog postava
2	STOP	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	Zahtjev za zaustavljanje elektrohidrauličkog postava
3	F_PRETVARAC	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	Digitalni izlaz frekvenzijskog pretvaraca
4	EM_VENTIL	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	Digitalni izlaz elektromagnetskog ventila
5	HSC_FREKVENCJA	DWord	%ID1000	<input type="checkbox"/>	Frekvencija vrtnje hidromotora [Hz]
6	BRZINA_OKR_MIN	Real	%MD10	<input type="checkbox"/>	Trenutna brzina vrtnje hidromotora [okr/min]
7	FREKVENCJA	Real	%MD34	<input type="checkbox"/>	Frekvencija vrtnje hidromotora - realna vrijednost
8	REFERENTNA_BRZINA	Real	%MD38	<input type="checkbox"/>	Referentna brzina vrtnje hidromotora [okr/min]
9	SERVOVENTIL	Word	%QW80	<input type="checkbox"/>	Analogni izlaz servoventila
10	IZLAZ_PI_REG_0_10	Real	%MD100	<input type="checkbox"/>	izlaz PI regulatora
11	IZLAZ_PI_REG_0_32000	Real	%MD104	<input type="checkbox"/>	skalirana vrijednost izlaza PI regulatora
12	STOP_2	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	Odgoda zatvaranja elektromagnetskog ventila
13	REGULACIJA	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	Bit za aktivaciju/deaktivaciju [OB200]

5.2.4 PI regulator

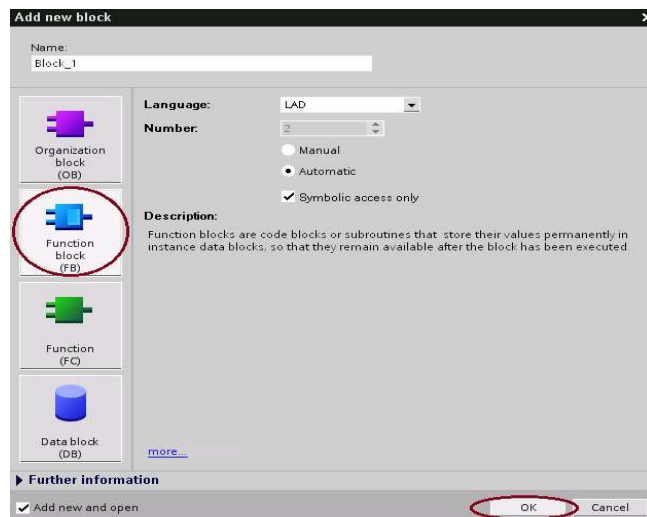
Projektirani PI regulator, čija je struktura prikazana na slici (5.22), posjeduje funkciju *reset antiwindup*, odnosno ukoliko je suma proporcionalnog i integracijskog djelovanja izvan izlaznog raspona regulatora, stanje integratora se resetira na vrijednost koja odgovara razlici pripadajućeg limita i proporcionalnog djelovanja.



Slika 5.22: PI regulator s definiranim limitima

Funkcijski blok PI regulatora [FB1]

Funkcijski blok PI regulatora [FB1] kreira se odabirom *PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] → Program blocks → Add new block → Function block*, kao što je prikazano na slici (5.23).



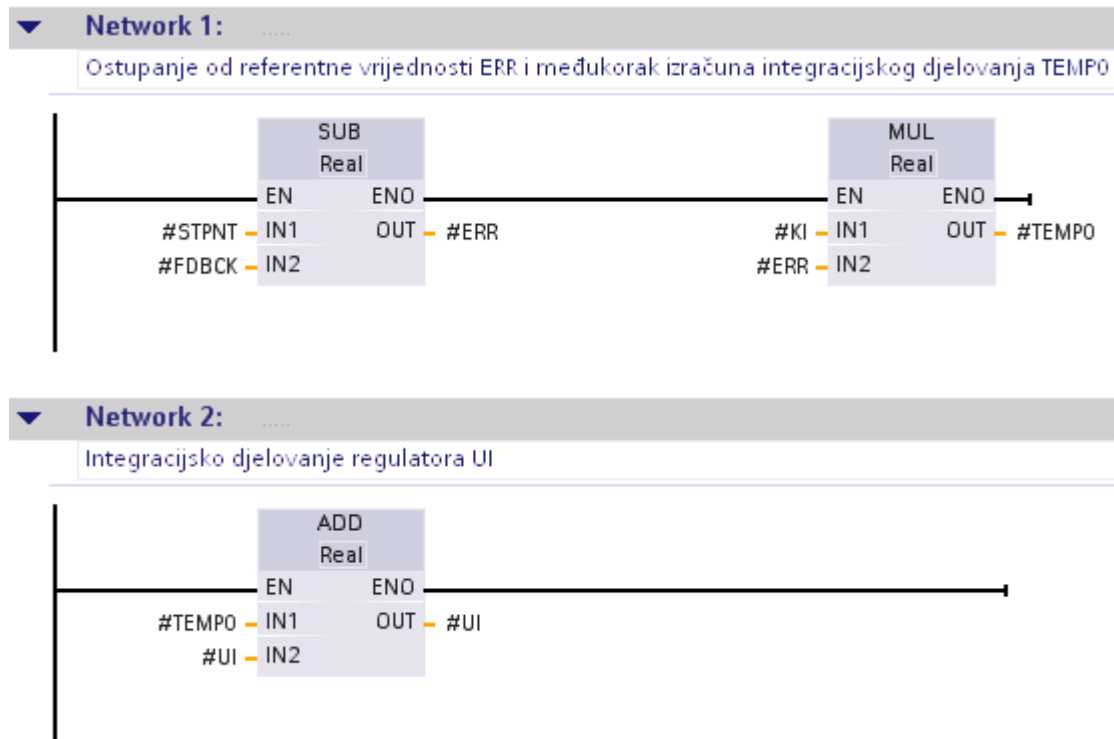
Slika 5.23: Kreiranje funkcijskog bloka

Prije izrade programa u funkcijskom bloku PI regulatora, potrebno je izraditi tablicu varijabli, te svakoj varijabli pridružiti simboličko ime, tip podatka i početnu vrijednost – tablica (5.6)

Tablica 5.6: Tablica varijabli funkcijskog bloka PI regulatora

Interface				
	Name	Data type	Default value	Retain
1	▼ Input			
2	STPNT	Real	0.0	Non-Reta.. ▼
3	FDBCK	Real	0.0	Non-Retain
4	KR	Real	0.0	Non-Retain
5	KI	Real	0.0	Non-Retain
6	▼ Output			
7	VOLT	Real	0.0	Non-Retain
8	▼ InOut			
9				
10	▼ Static			
11	UI	Real	0.0	Non-Retain
12	▼ Temp			
13	UP	Real		
14	TEMPO	Real		
15	UR	Real		
16	ERR	Real		

➤ Programske mreže 1 i 2:



Slika 5.24: FB1 – programske mreže 1 i 2

Programske mreže 1 i 2, prikazane na slici (5.24), prikazuju izračun regulacijskog odstupanja brzine vrtnje („ERR“), te izračun integracijskog djelovanja PI regulatora („UI“).

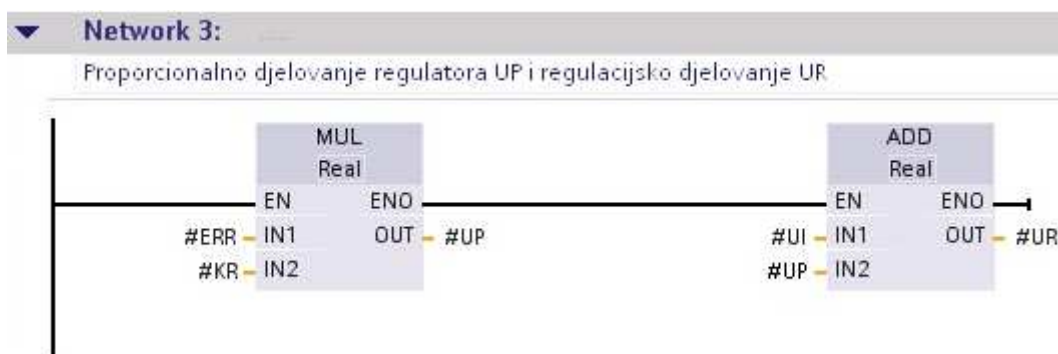
Izraz za izračun regulacijskog odstupanja brzine vrtnje:

$$err = n_{REF} - n \quad (5.3)$$

Izraz za izračun integracijskog djelovanja PI regulatora:

$$u_I = u_{I0} + K_R \frac{T}{T_I} \cdot err \quad (5.4)$$

➤ Programska mreža 3:



Slika 5.25: FB1 – programska mreža 3

Programska mreža 3, prikazana na slici (5.25), prikazuje izračun proporcionalnog djelovanja („UP“) i regulacijskog djelovanja („UR“) PI regulatora.

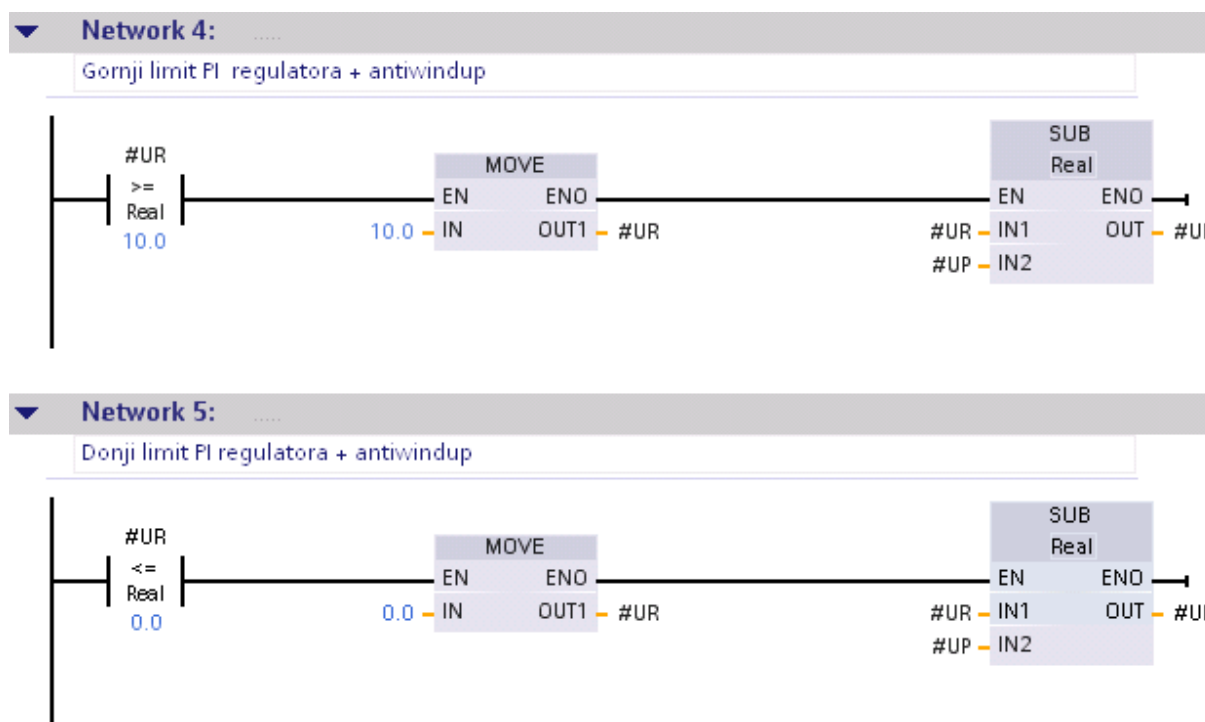
Izraz za izračun proporcionalnog djelovanja PI regulatora:

$$u_p = K_R \cdot err \quad (5.5)$$

Izraz za izračun regulacijskog djelovanja PI regulatora:

$$u_R = u_p + u_I \quad (5.6)$$

➤ Programske mreže 4 i 5:



Slika 5.26: FB1 – programske mreže 4 i 5

Programske mreže 4 i 5, prikazane na slici (5.26), određuju da li je regulacijsko djelovanje izvan postavljenih limita (0 i 10). Ako je limit premašen, integracijsko djelovanje („*UI*“) se postavlja na vrijednost koja je jednaka razlici limita („*UR*“) i proporcionalnog djelovanja regulatora („*UP*“).

Funkcija *reset antiwindup*:

Ako je $u_R > u_{max}$:

$$u_R = u_{max} \quad (5.7)$$

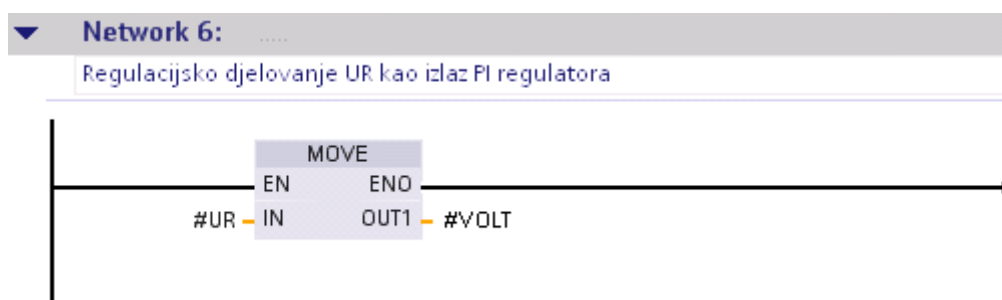
$$u_{I0} = u_{max} - u_P \quad (5.8)$$

Ako je $u_R < -u_{max}$:

$$u_R = -u_{max} \quad (5.9)$$

$$u_{I0} = -u_{max} - u_P \quad (5.10)$$

➤ Programska mreža 6:

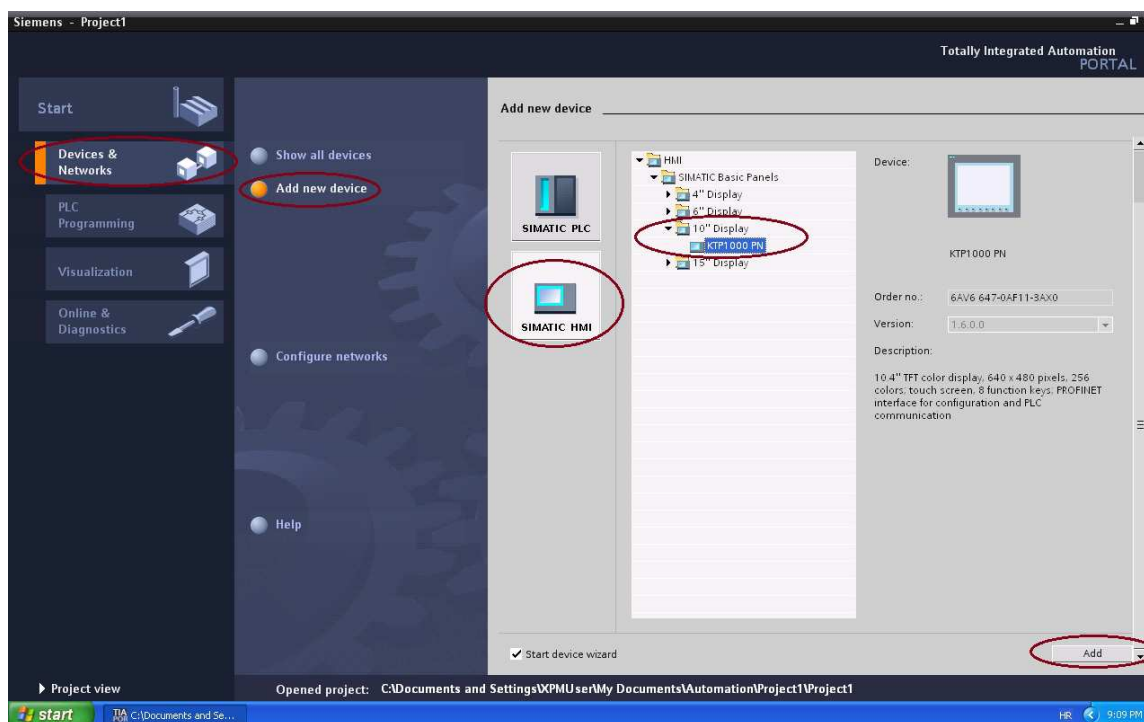


Slika 5.27: FB1 – programska mreža 6

Programska mreža 6, prikazana na slici (5.27), vrši prebacivanje podatka regulacijskog djelovanja („*UR*“) na izlaz PI regulatora („*VOLT*“).

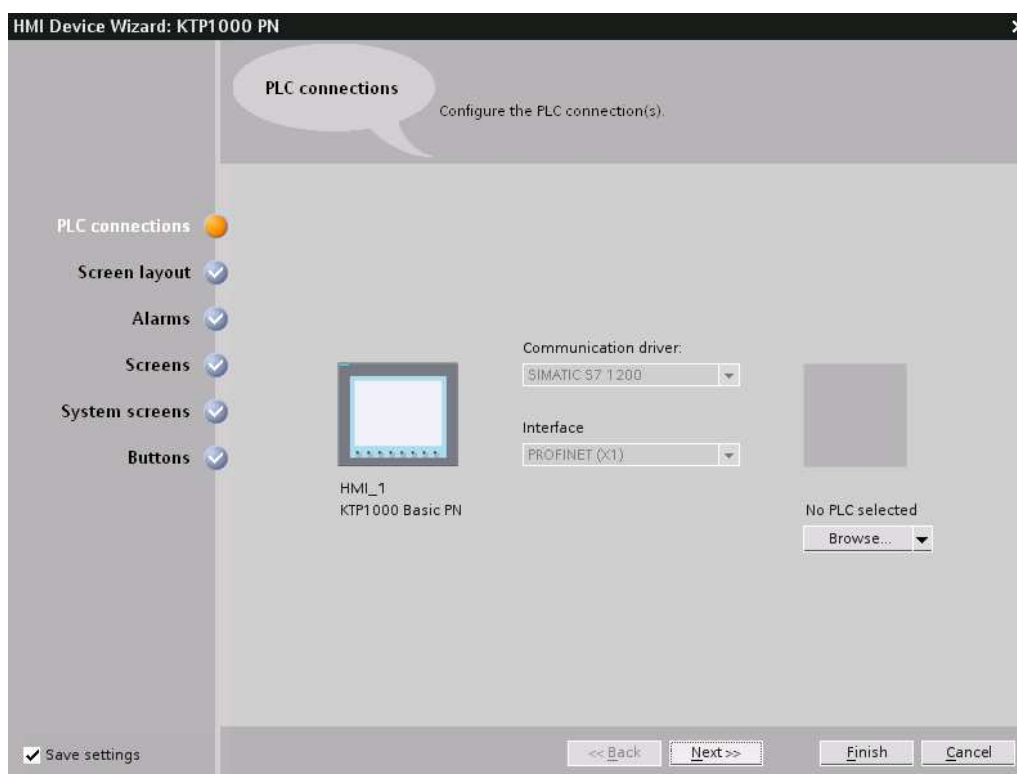
5.3 HMI vizualizacija

Prvi korak prilikom izrade HMI vizualizacije je odabir KTP panela. U *Project view* editoru odaberemo *Devices & Networks* → *Add new device* → *SIMATIC HMI* → *KTP* → *Add* - slika (5.28). *SIMATIC HMI* izbornik nam nudi nekoliko KTP panela, koji se primarno razlikuju po veličini zaslona.



Slika 5.28: Odabir KTP panela

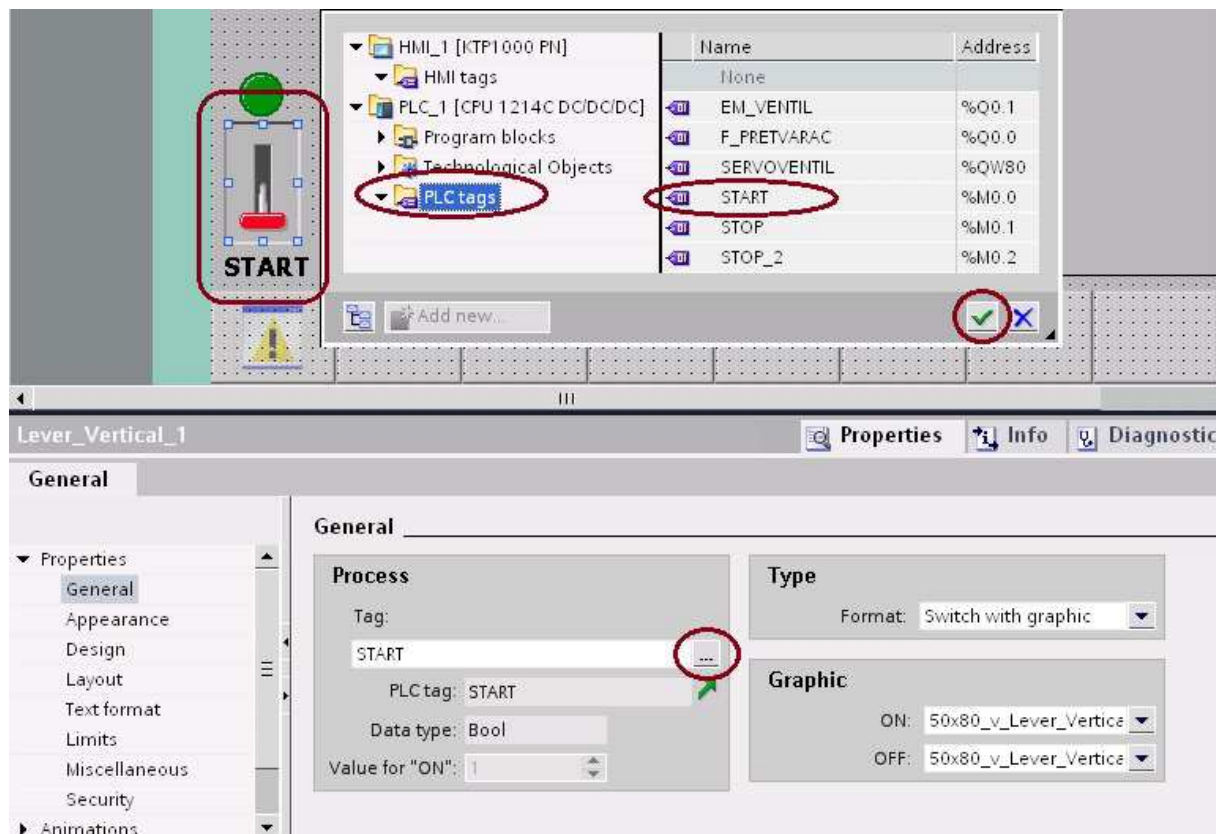
Nakon što smo odabrali željeni KTP panel, otvara se *HMI Device Wizard* gdje je moguće ostvariti povezivanje sa PLC uređajem, urediti izgled zaslona, odrediti prikaz programskih i sistemskih upozorenja i događaja, odrediti broj zaslona koji će se prikazivati na panelu, itd. *HMI Device Wizard* prikazan je na slici (5.29).



Slika 5.29: HMI Device Wizard

Nakon što smo podesili sve potrebne parametre, otvara se *SIMATIC WinCC* programski alat. *WinCC* omogućuje izradu HMI vizualizacije, odnosno omogućuje da na jednostavan i interaktivan način upravljamo i nadgledamo rad našeg upravljačkog programa.

Svaki grafički element koji se koristi u HMI vizualizaciji potrebno je povezati sa određenim simbolom iz upravljačkog programa, kao što je to prikazano na slici (5.30). Analogno tablici simbola kod upravljačkog programa, HMI vizualizacija posjeduje svoju tablicu simbola (*HMI tags*). U tablici simbola HMI vizualizacije nalaze se simboli iz upravljačkog programa, koji se aktivno ili pasivno koriste u vizualizaciji – tablica (5.7).

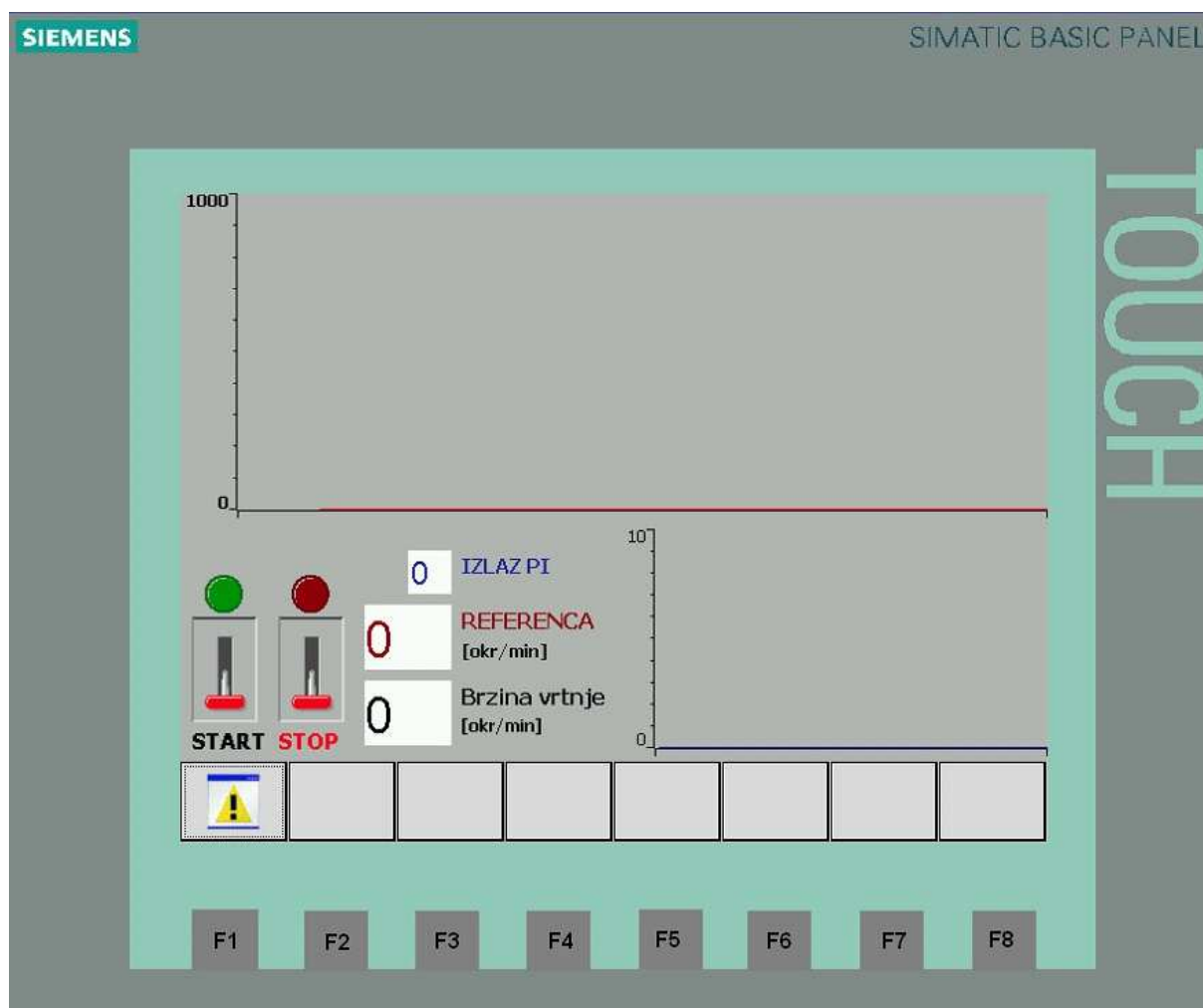


Slika 5.30: Povezivanje grafičkog elementa i upravljačkog programa

Tablica 5.7: Tablica simbola HMI vizualizacije

HMI tags				
	Name ▲	Connection	Data type	PLC tag
	BRZINA_OKR_MIN	HMI_connection..	Real	BRZINA_OKR_MIN
	HSC_FREKVENCIJA	HMI_connection..	DWord	HSC_FREKVENCIJA
	IZLAZ_PI_REG_0_10	HMI_connection..	Real	IZLAZ_PI_REG_0_10
	REFERENTNA_BRZINA	HMI_connection..	Real	REFERENTNA_BRZINA
	START	HMI_connection..	Bool	START
	STOP	HMI_connection..	Bool	STOP
	Tag_ScreenNumber	<Internal tag>	UShort	

Na slici (5.31) dan je prikaz vizualizacije koja se koristi pri regulaciji brzine vrtnje hidromotora.



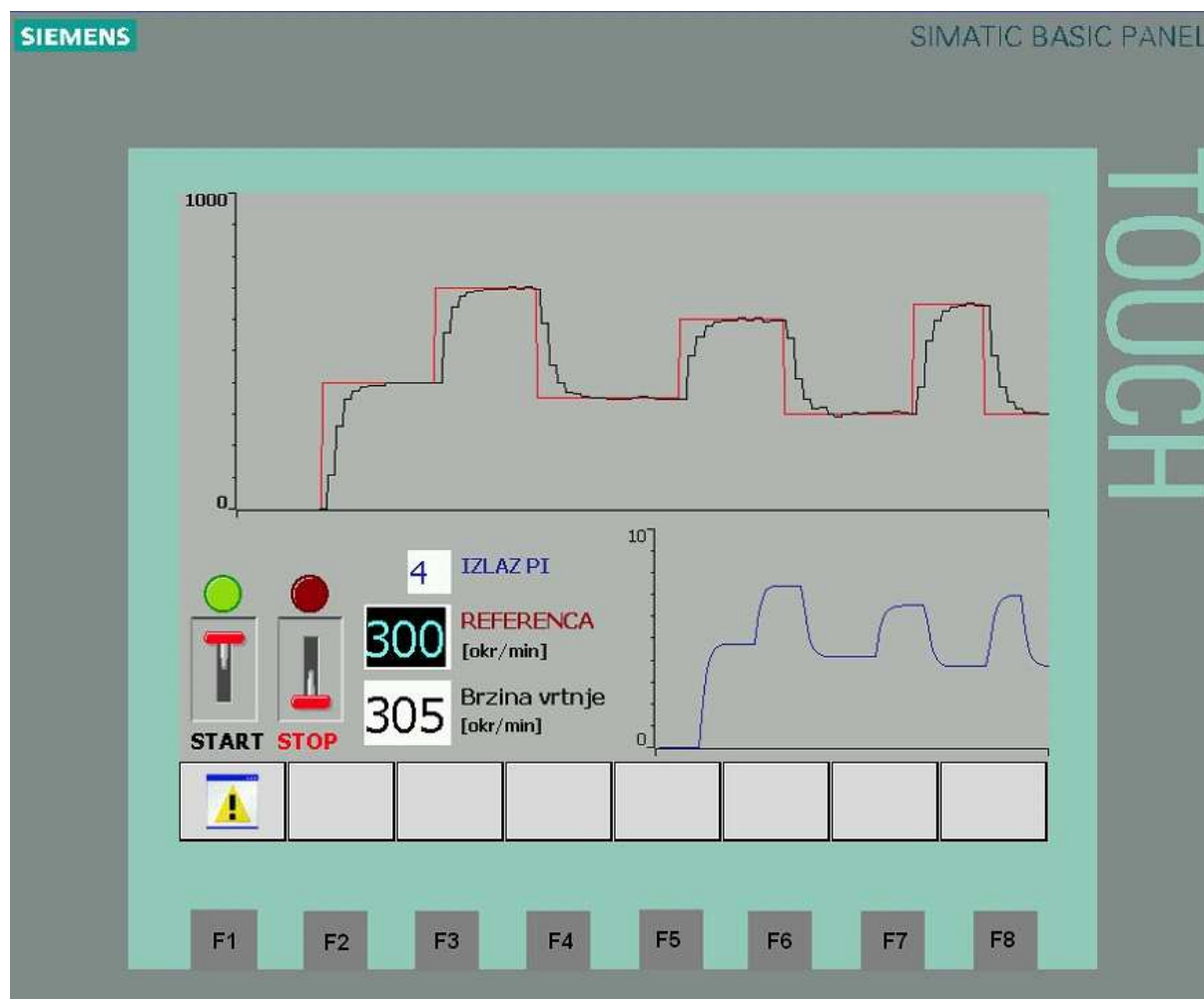
Slika 5.31: HMI vizualizacija regulacije brzine vrtnje hidromotora

HMI vizualizacija regulacije brzine vrtnje hidromotora sadrži:

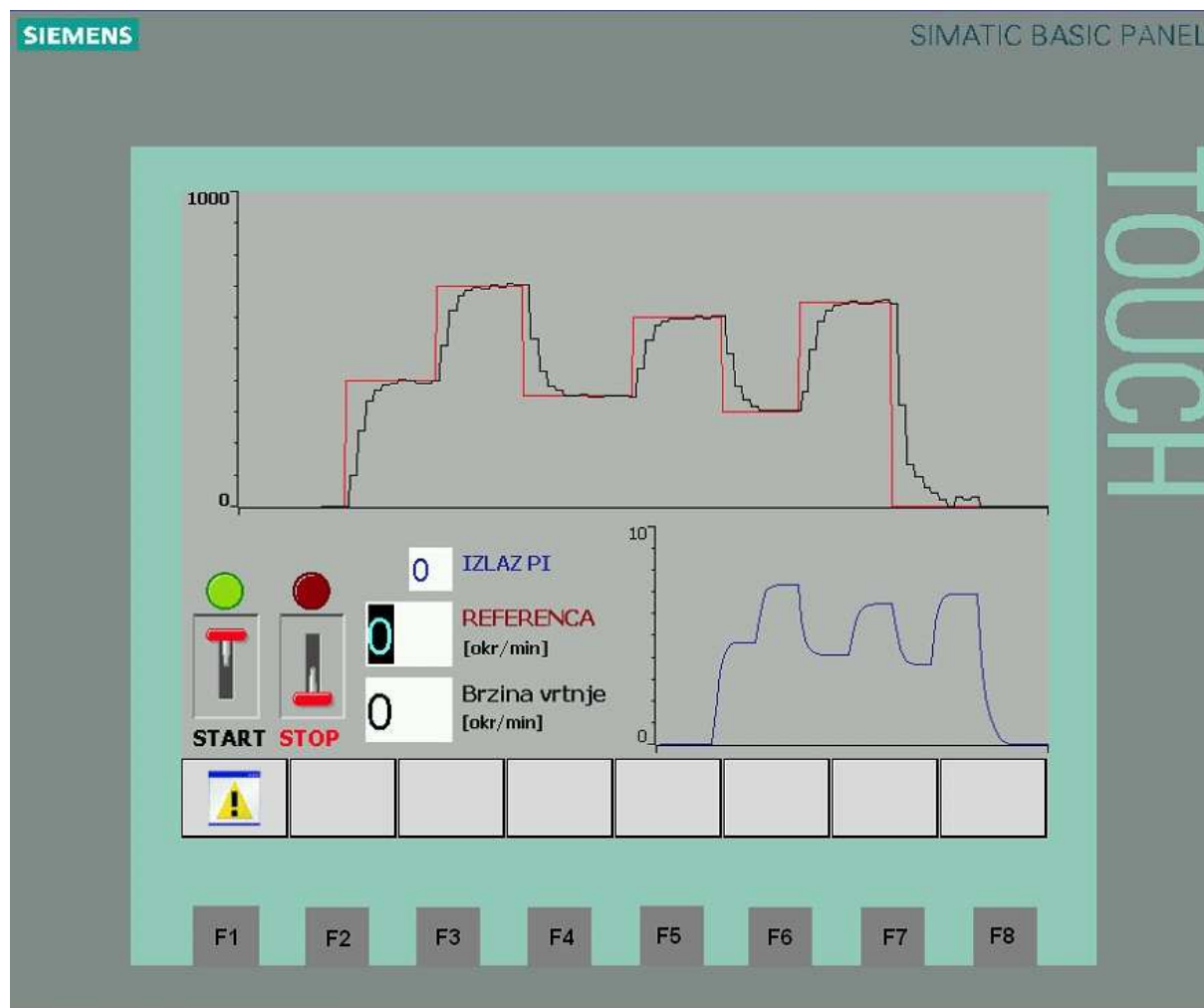
- START/STOP – Prekidači za pokretanje odnosno zaustavljanje elektrohidrauličkog postava.
- IZLAZ PI – Brojčanik koji prikazuje trenutnu vrijednost izlaza PI regulatora.
- REFERENCA – Brojčanik za unos željene brzine vrtnje hidromotora.
- BRZINA VRTNJE – Brojčanik koji prikazuje trenutnu vrijednost brzine vrtnje hidromotora.
- Dijagram brzine vrtnje u odnosu na referencu (gore).
- Dijagram izlaza PI regulatora (dolje desno)
 - Važno je napomenuti da su u oba dijagrama horizontalne osi u trajanju od 100 sekundi.

5.4 Eksperimentalni rezultati

Na slikama (5.32) i (5.33) prikazani su rezultati odziva brzine vrtnje hidromotora, kao i odziv izlaza PI regulatora za različite vrijednosti zadane reference.



Slika 5.32: Odziv brzine hidromotora na reference (400;700;350;600;300;650;300 okr/min)



Slika 5.33: Odziv brzine hidromotora na reference (400;700;365;600;300;640;0 okr/min)

Iz priloženih eksperimentalnih rezultata može se vidjeti kako PI regulator omogućava vrlo dobro praćenje referentne brzine.

Parametri PI regulatora dobiveni su metodom pokušaja i pogrešaka, a to je dopušteno budući da je sustav zaštićen od prevelikih sila i tlakova. Referentni signal ne može biti veći od 10V, što je ujedno i vrijednost signala na servoventilu za maksimalni protok, pa nema opasnosti po elektrohidraulički postav.

Parametri su PI regulatora:

$$K_R = 0.001$$

$$K_I = 0.000008$$

6. ZAKLJUČAK

Prilikom izrade diplomskog rada dobio sam detaljan uvid u arhitekturu Siemens SIMATIC S7-1200 PLC uređaja, kao i u strukturu i mogućnosti Totally Integrated Automation Portal razvojnog programskog alata.

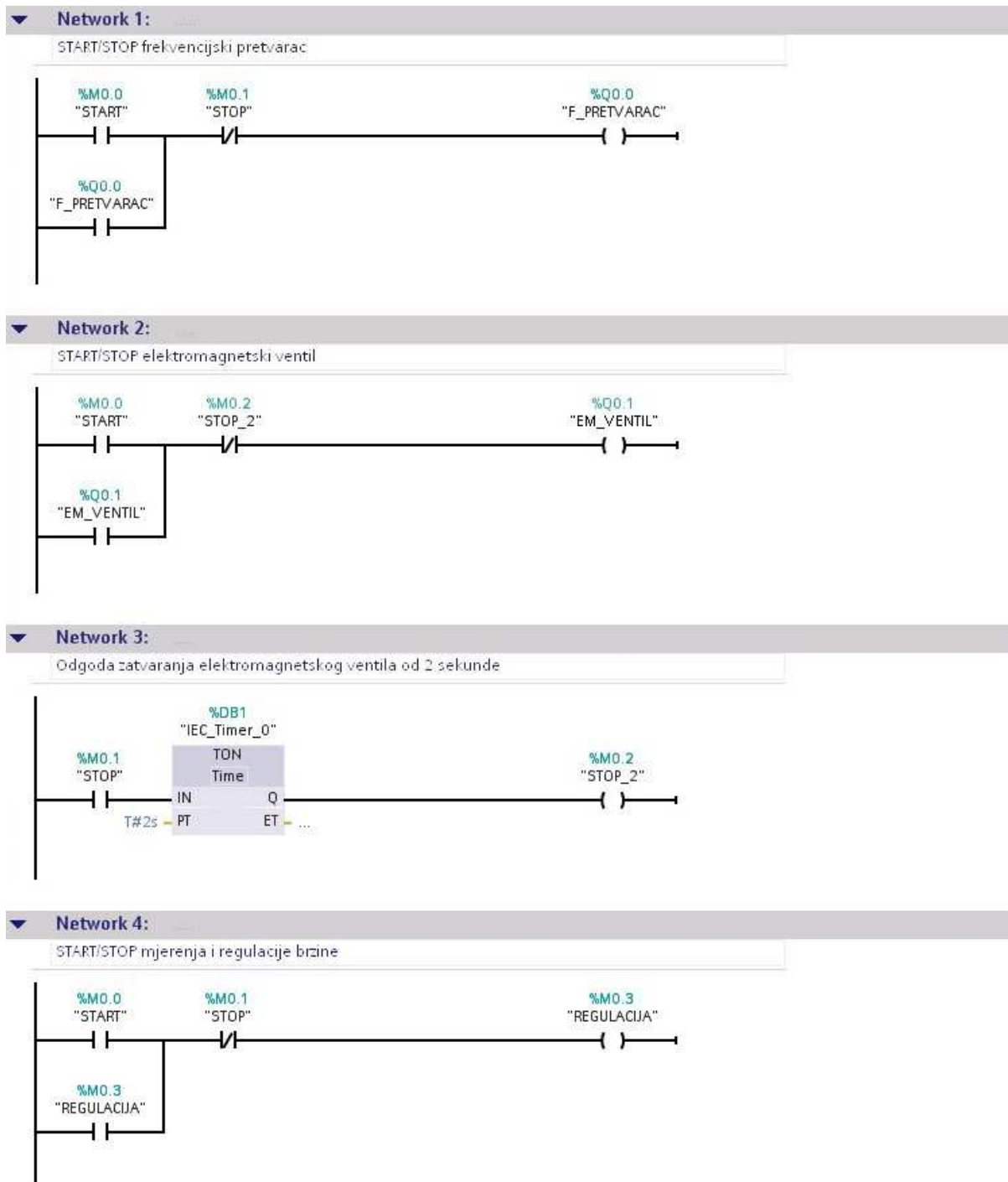
Jednako tako imao sam priliku raditi na elektrohidrauličkom laboratorijskom postavu, prilikom čega sam dobio uvid u problematiku usklađivanja njegovih tehničkih komponenti. Da bi se jedan, ovako naizgled jednostavan, tehnički sustav uspio automatizirati potrebna su znanja iz mnogih tehničkih područja, kao što su strojarstvo, elektrotehnika, elektronika i informatika.

Prilikom automatizacije nekog tehničkog sustava potrebno je na raspolaganju imati tehnologiju koja je tehnički napredna, pouzdana i robusna, ali i intuitivna odnosno primjerena i jednostavna za korisnika. Automatizacija stimulira produktivnost i profit tehničkog sustava. S druge pak strane svaki zastoj smanjuje produktivnost tehničkog sustava pa je neophodno koristiti pouzdanu i intuitivnu opremu, kako bi zastoje sveli na najmanju moguću mjeru.

Kad bi se povukla paralela između sustava automatizacije koji su nam danas dostupni i tehnologije koju smo imali u bližoj prošlosti, vidljive su značajne promjene glede složenosti, veličine i autonomije sustava koje je moguće automatizirati. Uz to što je procesorska moć današnjih računala na visokoj razini, te je moguće automatizirati iznimno složene tehničke sustave koji u sebi sadrže mnogo varijabli, u isto je vrijeme programiranje istih odnosno sama programska sintaksa puno jednostavnija. Težište današnje automatizacije bazira se izvan računala, dok je u prošlosti težište predstavljala složena programska sintaksa.

7. DODATAK – Pregled upravljačkog programa

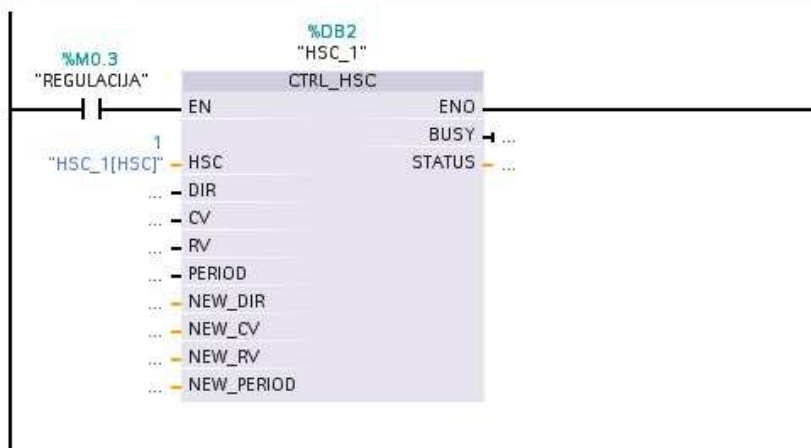
➤ Glavni program– Main [OB1]



➤ Potprogram program– Cyclic interrupt [0B200]

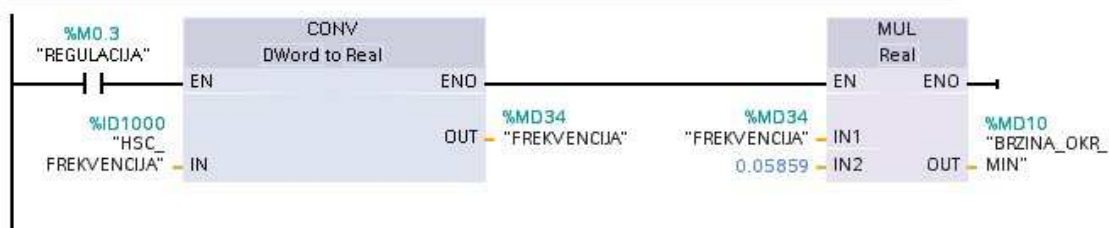
▼ Network 1:

Brzi brojac - spojen na digitalni ulaz I0.0



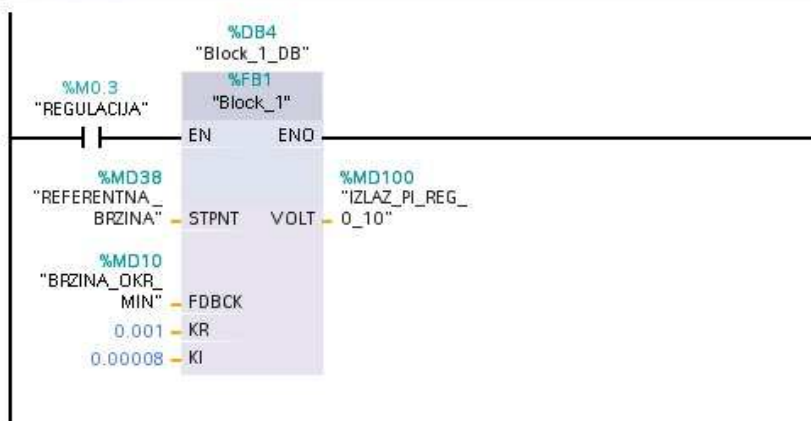
▼ Network 2:

Izračun brzine vrtnje hidromotora [okr/min]



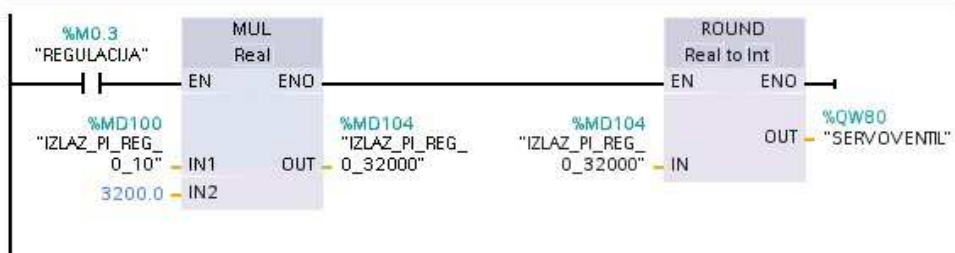
▼ Network 3:

PI regulator

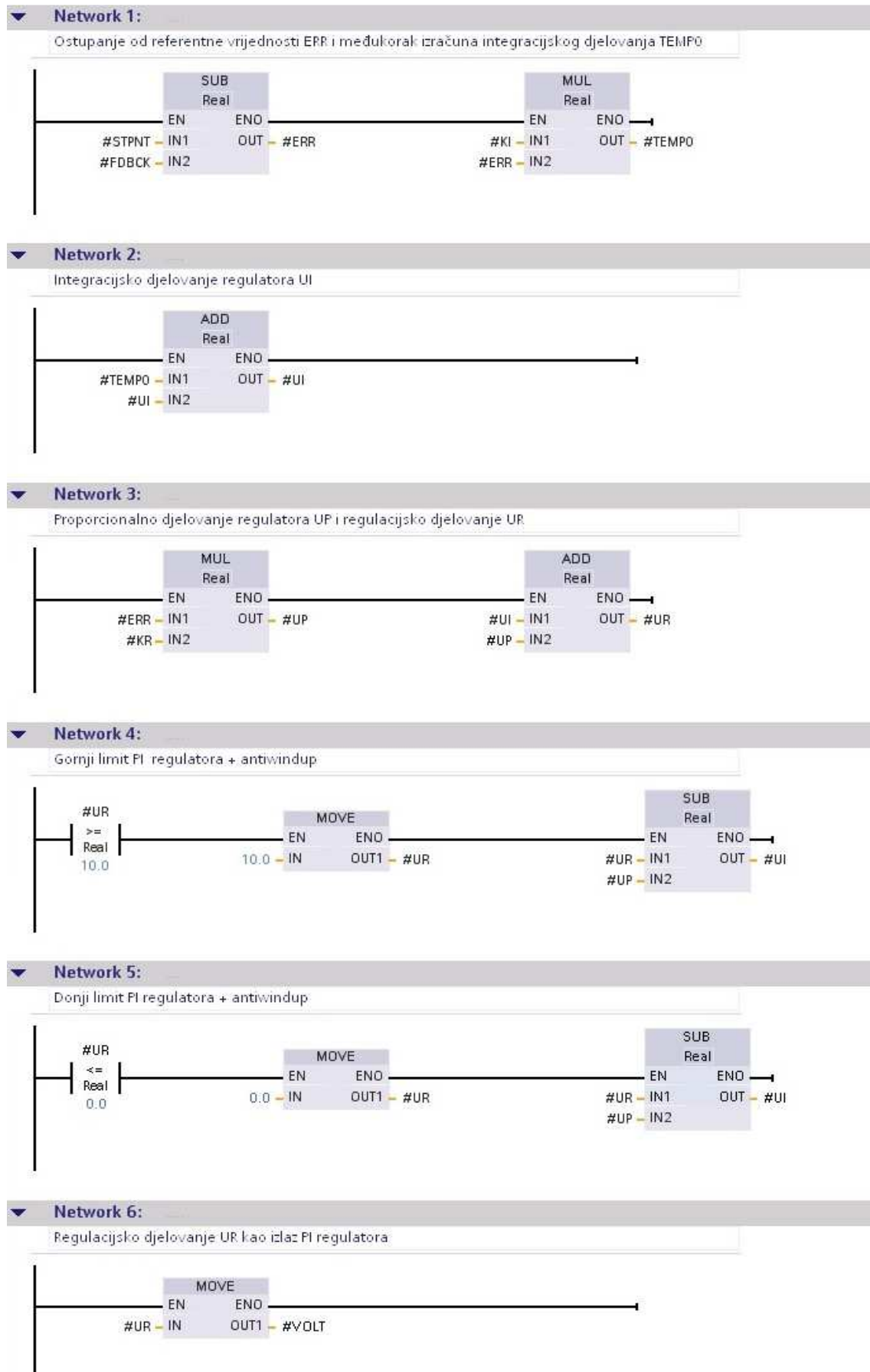


▼ Network 4:

Skaliranje analognog izlaza 0-10V na brojčanu vrijednost 0-32000



➤ Funkcijski blok PI regulatora - [FB1]



8. LITERATURA

- [1] Šurina T.: „Automatska regulacija“, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
- [2] Novaković J.: „Hidraulika“, Školske novine, Zagreb, 2003.
- [3] Šitum Ž.: „Pneumatski i hidraulički servosustavi“, predavanja, FSB, Zagreb
- [4] Pavković D.: „Programabilni logički kontroleri“, predavanja, FSB, Zagreb
- [5] Siemens: „SIMATIC S7-1200 Programmable controller System Manual“, Nurnberg, 2009.
- [6] Siemens: „SIMATIC S7-1200 Easy Book Manual“, Nurnberg, 2009.
- [7] Siemens: „SIMATIC TIA Portal STEP 7 Basic V10.5 Getting Started“, Nurnberg, 2009.
- [8] Microsoft: „Install and use Windows XP Mode in Windows 7“, <http://windows.microsoft.com/en-us/windows7/install-and-use-windows-xp-mode-in-windows-7>, 05.08.2013.